

**Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
Recinto Universitario Rubén Darío
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología**



Monografía para optar al título de Ingeniera Geóloga

**ESTUDIO GEOESTRUCTURAL EN LAS HOJAS TOPOGRÁFICAS DE VILLANUEVA Y EL SAUCE EN EL
OCCIDENTE DE NICARAGUA**

ELABORADO POR:

Petronila Guadalupe Flores Ayerdis

TUTOR:

Prof. Dionisio Rodríguez

Managua, Diciembre del 2011

DEDICATORIA

“Lo mejor de la vida no es lo que ha caído del cielo sin esfuerzo, es aquello que te ha costado lagrimas del alma, aquello que te roba el pensamiento, que desvela tu paciencia y que anhelas con el corazón.”

Por eso dedico este trabajo monográfico a mis padres

GLADYS DEL ROSARIO AYERDIS LOPEZ

y

JOSE ABRAHAM FLORES LOPEZ (q.e.p.d.)

que con todo sus esfuerzos hicieron posible la realización de mis estudios universitarios a pesar de todos los obstáculos que se me presentaron.

Gracias por darme la vida, por hacer mi ser, por forjar mi alma, por brindarme apoyo infinito, por estar siempre a mi lado, por sufrir mis penas y disfrutar mis alegrías y por ofrecerme sus mejores consejos.

Son mi ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, la sabiduría y el conocimiento para culminar mi carrera profesional con grandes éxitos y a mi Familia que con su eterno apoyo, confianza y enseñanza me dan la fuerza suficiente para salir adelante a lo largo de mi vida.

Agradezco al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/UNAN-Managua) por darme la oportunidad de realizar este trabajo monográfico y facilitar los equipos, recursos y demás materiales necesarios para finalizar y presentar este documento.

De manera especial agradezco a mi tutor **Prof. Dionisio Rodríguez**, por creer en mí, por el tiempo y paciencia que dedicó durante el desarrollo de esta monografía y por toda la ayuda incondicional que me brindó.

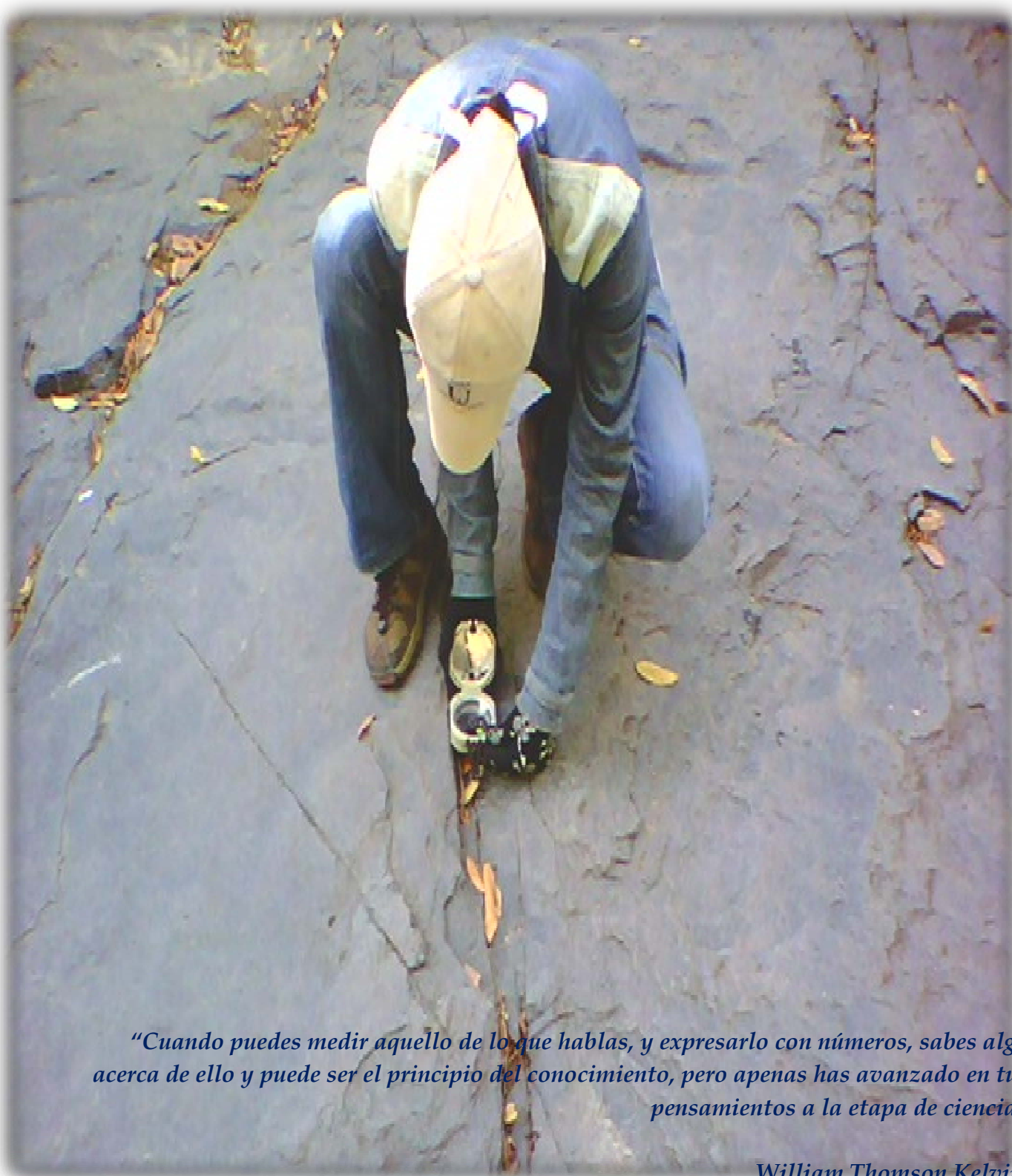
A **Francisco Espinoza**, por sus valiosos consejos, sugerencias y comentarios que contribuyeron al mejoramiento de este trabajo.

Especialmente agradezco a la **Prof. Mireya Pérez**, del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría de Cuba, por compartir sus conocimientos en petrografía y al **Prof. Luis Altamirano**, por su enseñanza en mineralogía.

Agradezco profundamente a mi amiga **Suyen López** por su valiosa amistad y ayuda incondicional, permitiendo así compartir grandes experiencias durante el desarrollo de este trabajo monográfico y a **Marjorie Toruño** por su apoyo incondicional en la etapa final de la tesis.

A los señores **Santiago Noguera** por su apreciable ayuda durante la etapa de campo y **Francisco Vásquez** por su dedicación durante la elaboración de las secciones delgadas.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en el proceso de la realización de este trabajo.



“Cuando puedes medir aquello de lo que hablas, y expresarlo con números, sabes algo acerca de ello y puede ser el principio del conocimiento, pero apenas has avanzado en tus pensamientos a la etapa de ciencia”

William Thomson Kelvin.

RESUMEN

El área de las hojas topográficas de Villanueva y El Sauce se ubica al NW de Nicaragua en una zona de transición entre el margen nororiental de la Depresión Nicaragüense y el Arco Volcánico Terciario, dentro de la Provincia Meridional de América Central.

Litológicamente el área de estudio está constituida por un basamento de coladas andesíticas Terciarias, subyacidas por lavas basálticas, riolíticas, dacíticas, riodacíticas y tobas dacíticas, e intruido por un cuerpo plutónico granodiorítico.

Geomorfológicamente, el relieve de Villanueva y El Sauce está definido por dos cadenas volcánicas terciarias con alturas de 200-820 msnm, una en dirección N-S y la otra en dirección NW-SE, separadas por dos planicies aluviales cuaternarias, con relleno de hasta 100 m.

Estructuralmente, Villanueva y El Sauce está controlada por la actividad tectónica entre la Placa de Cocos y la Placa del Caribe, que con su mecanismo de subducción provocó esfuerzos de extensión y compresión, originando bloques fallados con movimientos verticales y transtensionales, formando una depresión tectónica y tres pilares tectónicos, en los que se emplazaron calderas volcánicas, estructuras semicirculares y domos.

El análisis e interpretación de los datos estructurales permitieron definir la sucesión de eventos tectónicos locales, los que se clasificaron en cuatro fases de fallamiento: *N-S*, *NE-SW*, *E-W* y *NW-SE*; en las que se observó que las estructuras geológicas presentan una rotación en sentido de las manecillas del reloj, de N-S a NW-SE de bajo ángulo, coincidiendo con la actual posición de la zona de subducción oblicua y su bajo ángulo de subducción.

CONTENIDO

Dedicatoria	I
Agradecimientos	II
Resumen	IV
Contenido	V
Capítulo I: Introducción	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo General	1
1.1.2 Objetivos Específicos	1
1.2 Localización y Vías de Acceso	2
1.3 Antecedentes	4
1.4 Metodología de Trabajo	6
1.4.1 Trabajo de Gabinete	6
1.4.1.1 Recopilación y Análisis de la Información	6
1.4.1.2 Fotointerpretación	6
1.4.1.3 Generación y Elaboración de Mapas Base	7
1.4.2 Trabajo de Campo	7
1.4.2.1 Reconocimiento de Campo	7
1.4.2.2 Levantamiento Estructural	8
1.4.2.3 Levantamiento Geológico	8
1.4.3 Análisis e Interpretación de los Datos de Campo	8
1.4.3.1 Rosetas de Fracturas	8
1.4.3.2 Análisis Estructural	9
1.4.3.3 Elaboración de Secciones Delgadas	9
1.4.4 Informe Final	9
Capítulo II: Tectónica de América Central	10
Capítulo III: Geología Regional de Nicaragua	13
Capítulo IV: Geología Local	18
4.1 Unidad de Coladas Andesíticas (An)	20
4.2 Unidad de Lavas Riolíticas (R)	23
4.3 Unidad de Coladas Dacíticas (Da)	25
4.4 Unidad de Tobas Dacíticas de Flujo (Td)	27
4.5 Unidad de Domos Intracaldéricos Riodacíticos (Rd)	29
4.6 Unidad de Intrusivo Granodiorítico (Gd)	30
4.7 Unidad de Coladas Basálticas (Ba)	33
4.8 Unidad de Sedimentos Aluviales(al)	35
Capítulo V: Geomorfología	37
5.1 Unidad de Origen Denudacional (D)	39
5.1.1 Subunidad de Colinas Denudacionales (D3)	39
5.2 Unidad de Origen Volcánico (V)	40
5.2.1 Subunidad de Coladas de Lava (V9)	40
5.2.2 Subunidad de Remanentes de Calderas y Estructuras Semicirculares (V14)	41
5.2.3 Subunidad de Colinas Volcánicas y Cerros Testigos (V16)	42
5.3 Unidad de Origen Estructural (S)	43
5.3.1 Subunidad de Topografía Ondulada (S1)	43
5.3.2 Subunidad de Domos (S10)	43
5.4 Unidad de Intrusivo	44

5.5 Unidad de Origen Fluvial (F)	45
5.5.1 Subunidad de Llanuras Aluviales (F3)	45
Capítulo VI: Geología Estructural	47
6.1 Consideraciones Teóricas	47
6.1.1 Criterios de Cizalla	49
6.1.2 Indicadores Cinemáticos	52
• Fracturamiento Conjugado	52
• Fracturamiento Paralelo	53
• Fallamiento Lístrico	54
• Fracturas Secundarias asociadas a Fallas	55
• Sigmoides	56
• Vetillas Escalonadas	58
• Estrías	58
• Bloques Escalonados	59
6.2 Morfología Estructural	61
6.2.1 Mapa Topográfico	61
6.2.2 Mapa Altimétrico	63
6.2.3 Mapa de Pendientes	65
6.2.4 Mapa de Modelo Sombreado	68
6.3 Fases de Fallamiento	70
6.3.1 Fase de Fallamiento N-S	70
6.3.1.1 Falla Chagüite Grande	72
6.3.1.2 Falla Los Loros	75
6.3.1.3 Falla El Cerro	76
6.3.1.4 Falla El Sauce	76
6.3.2 Fase de Fallamiento NE-SW	78
6.3.2.1 Falla La Esperanza	79
6.3.2.2 Falla El Cangrejo	81
6.3.2.3 Falla Los Rincones	82
6.3.2.4 Falla La Lanza	84
6.3.2.5 Sistemas de Fallas Quebrada Grande-La Pita	85
6.3.3 Fase de Fallamiento E-W	87
6.3.3.1 Falla Los Lirios	88
6.3.4 Fase de Fallamiento NW-SE	89
6.3.4.1 Fallas NW de alto ángulo	90
6.3.4.1.1 Falla El Hoyo	90
6.3.4.1.2 Falla Gaspar García Laviana	91
6.3.4.1.3 Falla Villanueva	93
6.3.4.1.4 Falla San Ramón	94
6.3.4.1.5 Falla El Genízaro	96
6.3.4.1.6 Falla Los Encuentros	98
6.3.4.1.7 Falla El Matapalo	99
6.3.4.1.8 Falla La Vainilla	100
6.3.4.1.9 Sistema de Fallas Las Zetas-San Cayetano	101
6.3.4.1.10 Sistema de Fallas La Jicara-El Tejar	102
6.3.4.2 Fallas NW de bajo ángulo	104
6.3.4.2.1 Falla Los Tololos	104

6.3.4.2.2 Falla El Aserradero	105
6.3.4.2.3 Falla La Troja	107
6.4 Estructuras Volcánicas Circulares y Semicirculares	107
6.4.1 Caldera La Sabana	108
6.4.2 Caldera Las Limas	109
6.4.3 Caldera San Ramón	110
6.4.4 Estructura Semicircular San Pascual	111
6.4.5 Estructura Semicircular El Pajuil	112
6.4.6 Estructura Semicircular Los Alacranes	112
6.4.7 Caldera La Coyotera	112
6.4.8 Caldera Chagüite Grande	113
6.5 Pilares Tectónicos	114
6.5.1 Pilar Mina de Agua	114
6.5.2 Pilar Los Lirios	115
6.5.3 Pilar El Sauce	116
6.6 Depresión Tectónica	117
6.6.1 Depresión Tectónica El Sauce	118
Capítulo VII: Discusión	119
Capítulo VIII: Conclusiones	122
Capítulo IX: Recomendaciones	124
Capítulo X: Bibliografía	125
Anexos	127
Anexo 1. Descripción Macroscópica de las rocas de Villanueva y El Sauce	128
Anexo 2. Descripción Petrográfica de las rocas de Villanueva y El Sauce	129
Anexo 3. Clasificación Geomorfológica propuesta por Van Zuidam, 1975	142
Anexo 4. Mediciones de criterios de cizalla e indicadores cinemáticos en Villanueva y El Sauce	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Localización	3
Figura 2. Mapa Tectónico de América Central y de placas relacionadas	10
Figura 3. Mapa Geológico de Nicaragua	13
Figura 4. Mapa Geológico de Villanueva y El Sauce	19
Figura 5. Mapa Geomorfológico de Villanueva y El Sauce	38
Figura 6. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas	49
Figura 7. Comparación geométrica y modelos de los sistemas de cizalla pura y simple	51
Figura 8. Fracturamiento conjugado	53
Figura 9. Deformación dentro de una zona de falla de rumbo	53
Figura 10. Fracturamiento paralelo	54
Figura 11. Fallamiento lístrico	55
Figura 12. Fracturas secundarias asociadas a fallas	56
Figura 13. Diferentes estructuras sigmoidales	57
Figura 14. Vetillas escalonadas	58
Figura 15. Estrías	59
Figura 16. Bloques escalonados	60
Figura 17. Mapa Topográfico de Villanueva y El Sauce	62

Figura 18. Mapa Altimétrico de Villanueva y El Sauce	64
Figura 19. Mapa de Pendientes de Villanueva y El Sauce	67
Figura 20. Mapa de Modelo Sombreado de Villanueva y El Sauce	69
Figura 21. Mapa Estructural de Villanueva y El Sauce	71
Figura 22. Roseta de fracturas de la Falla El Hoyoero	90
Figura 23. Roseta de fracturas de la Falla El Aserradero	106
Figura 24. Esquema de un Pilar Tectónico o Horst	114
Figura 25. Esquema de una Depresión Tectónica o Graben	117

CAPITULO I

INTRODUCCION

Nicaragua, así como el resto de Centroamérica, se ubica en una región tectónicamente muy compleja, caracterizada por estar expuesta a esfuerzos de extensión y compresión, causados por una intensa actividad sísmica y volcánica, provocada por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe.

Este escenario tectónico, hacen del área de estudio una zona de interés investigativo por situarse paralela a la Fosa Mesoamericana y a la Depresión de Nicaragua, asimismo por ubicarse en una zona de transición entre las rocas volcánicas Cuaternarias de la Depresión de Nicaragua, y las rocas volcánicas Terciarias de la Parte Central del país.

La investigación consistió en definir geoestructuralmente el área, basándose en la determinación de esfuerzos, a través de la medición, análisis e interpretación de criterios de cizalla e indicadores cinemáticos, que establecieron la geometría y cinemática en las estructuras geológicas de Villanueva y El Sauce.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

- ❖ Estudiar las condiciones geoestructurales en el área de Villanueva y El Sauce, basándose en la determinación de esfuerzos tectónicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ❖ Identificar e interpretar los diferentes indicadores cinemáticos de las estructuras geológicas del área, para definir su geometría y cinemática.
- ❖ Establecer la secuencia de las fases de fallamiento tectónico de la región.
- ❖ Elaborar un mapa geoestructural a escala 1:50,000 definiendo las diferentes estructuras geológicas, con sus respectivas direcciones de esfuerzos.

1.2 Localización y Vías de Acceso

El área de estudio se localiza a 186 Km al Noroeste de Managua, comprendiendo parte de los departamentos de Chinandega y León, en el Occidente de Nicaragua.

Cubre una superficie aproximada de 1002.7 km² dentro de las coordenadas N 141880-143705, E 500000-554250, abarcando las hojas topográficas de Villanueva (2854-IV) y El Sauce (2854-I), ambas a escala 1:50,000 y editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1988).

Dentro del área se incluyen los municipios de Villanueva, El Sauce y los poblados de San Pascual, Cayanlipe, Gaspar García Laviana, Israel, El Bonete, San Ramón, Los Tololos y Río Grande **(Fig.1)**.

Al sitio de estudio se llega a través de dos vías de acceso:

- La primera, por la Carretera Managua-Chinandega hasta llegar al pueblo de Villanueva, posteriormente se toma la carretera de todo tiempo que conduce al municipio de El Sauce.
- La segunda, por la Carretera Panamericana Managua-Sébaco-Estelí continuando por carretera de todo tiempo hasta el municipio de El Sauce y seguidamente hasta Villanueva.

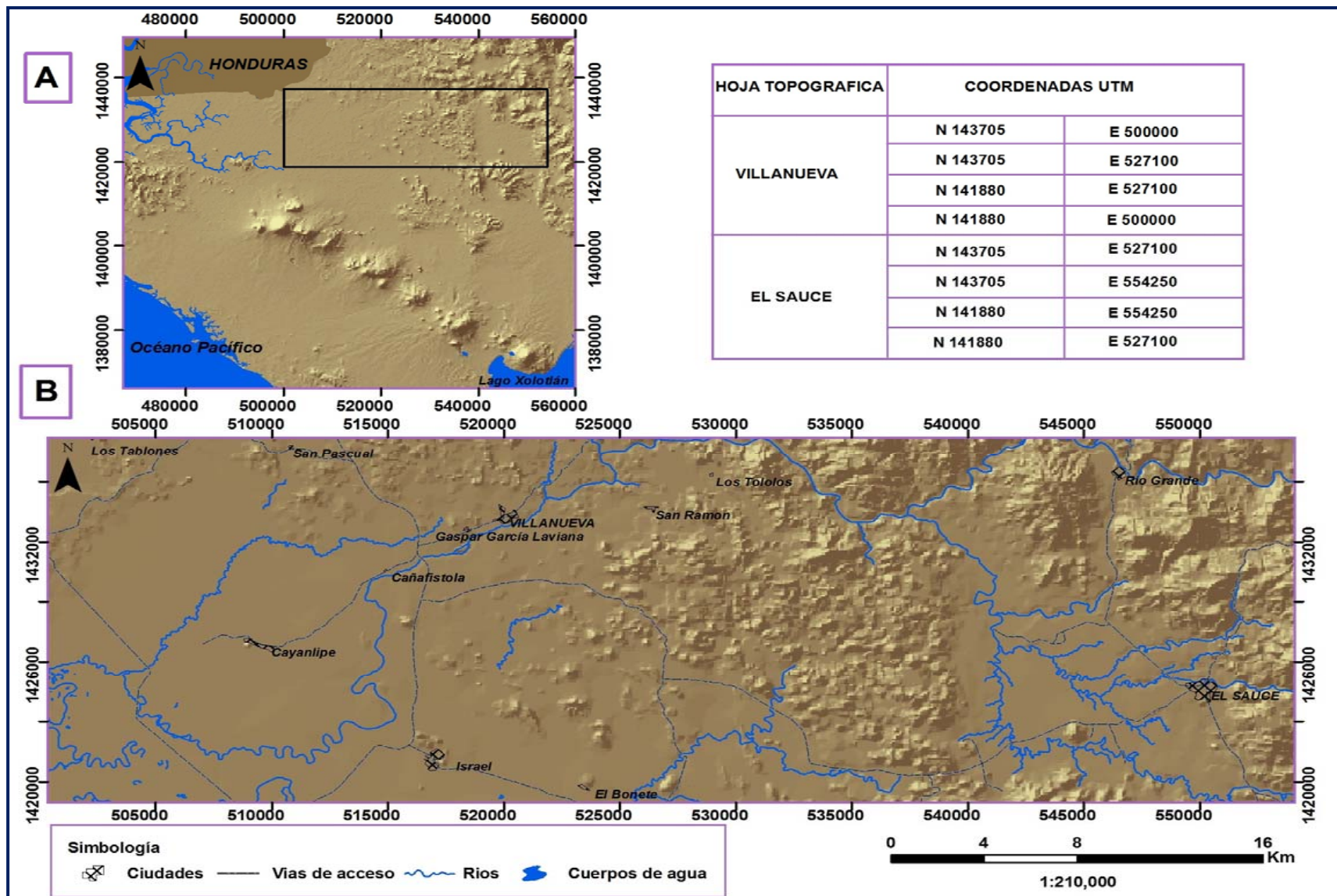


Figura 1. A) Mapa de Nicaragua que muestra la zona de investigación.
B) Mapa Detallado del Área de Estudio.

1.3 Antecedentes

La región Noroccidental de Nicaragua, donde se ubica el área de estudio, ha sido investigada por diferentes autores, quienes describieron geológicamente las rocas volcánicas Terciarias; sin embargo, no se han realizado estudios geoestructurales enfocados al análisis e interpretación de esfuerzos y deformaciones de las estructuras geológicas del área.

Los principales estudios geológicos realizados en la región son:

Hodgson (1971), realizó una investigación geológica en el Noroeste de Nicaragua y señala la existencia de rocas volcánicas extrusivas andesíticas, asignadas al Grupo Matagalpa por McBirney y Williams (1965), y las incluyó dentro del Grupo Coyol modificando los límites establecidos. Sugiere que las rocas volcánicas ubicadas al N y NE del área buzan hacia el SW por ubicarse en el flanco occidental de un gran anticlinal con rumbo NW a lo largo de los intrusivos Terciarios; también reporta fallamiento en dirección N-S y NW-SE, este último paralelo a la Depresión de Nicaragua coincidiendo con la dirección de los intrusivos Terciarios que forman el anticlinal. Además señala la presencia de rocas intrusivas del Oligoceno cortando a las rocas volcánicas Terciarias presentes en la zona.

Lilljequist, Andersson y Astrand (1984), interpretaron estructuralmente imágenes Landsat sobre el vulcanismo Terciario en Nicaragua con el propósito de identificar estructuras circulares y lineamientos geológicos primarios a escala regional. De esta manera confirmaron la presencia de cráteres y calderas profundamente erosionadas y tectónicamente desarrolladas, señalando que algunas de estas pueden correlacionarse directamente con la formación de depósitos de vetas epitermales a lo largo de los márgenes de calderas como es el caso del Distrito Minero El Limón ubicado en el borde

suroccidental de la Caldera El Sauce. Definieron un nuevo modelo geológico, en el cual introdujeron las siguientes hipótesis: 1- Las rocas volcánicas del Cretácico Tardío y del Terciario forman la Parte Central de Nicaragua en un arreglo aproximado de doce paleoarcos. 2- Durante el Terciario la actividad volcánica y magmática se desplazo de Este a Oeste. 3- Los sistemas de fallas y fracturas están relacionados a los eventos de la tectónica de placas pasada y presente. 4- Los depósitos minerales pueden explicarse como relacionados a paleoarcos específicos con sus respectivos sistemas de fracturas a intervalos de tiempos específicos.

Hodgson (1988), realizo un informe como resultado del estudio geológico semidetallado del área de Rincón de García, distrito minero “El Limón”, con el objetivo de contribuir a la interpretación de la génesis de los depósitos minerales del área, incluyendo dentro del Grupo Coyol varios intrusivos hipoabisales y unidades de rocas volcánicas andesíticas, dacíticas, basálticas y riolíticas encontradas en el área de Rincón de García al Este de Achuapa y El Sauce. Además identifica estructuras circulares, fallamientos y fracturamientos con rumbos predominantes NW-SE y NE-SW y una serie de vetas orientadas E-W.

Rodríguez (1989), identifica en el área de Mina de Agua-Rincón de García, siete unidades litológicas: Lava Andesítica, Brecha Riolítica, Toba Riolítica, Domo Caldérico Riolítico, Toba de Flujo Riolítico, Rocas Hipoabisales y Material Coluvio-Aluvial. Así como también estructuras caldéricas, diques de composición básica a intermedia que relaciona con el sistema de vetas de la zona y diferentes tipos de alteraciones hidrotermales que originaron la mineralización del área.

Rodríguez (1994), incluye el área de estudio dentro de la Provincia Metalogenética Occidental, basado en el ambiente geológico y la litología de las rocas encajantes. De

acuerdo a esto, clasifica las ocurrencias minerales en dos subzonas: 1) las minas de Au-Ag de El Limón, Mina de Agua-Rincón de García y La India y 2) mineralizaciones de Au-metales base en Cinco Pinos, Achuapa y San Juan de Limay.

Ehrenborg (1996), propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa y sugiere la separación de las fuentes volcánicas y sus facies medias y distales tomando en cuenta las litologías, facies, alteraciones hidrotermales, buzamientos, y rasgos geomorfológicos de los centros volcánicos estudiados. Por medio de estos parámetros clasificó las fuentes volcánicas de la siguiente manera: Domo Riolítico equivalente a Lava Riolítica, Escudo Estratiforme equivalente al Centro Volcánico Riolítico y Escudo Ignimbrítico equivalente a Basaltos y Andesitas.

1.4 Metodología

La metodología que se utilizó para la realización de este estudio, consta de cuatro etapas principales, las cuales se describen a continuación:

1.4.1 Trabajo de Gabinete

1.4.1.1 Recopilación y Análisis de la Información

Esta etapa consiste en la recopilación y análisis de toda la información existente del área de estudio, para la cual se realizaron visitas a centros de documentaciones relacionados con el tema, como: INETER, CIGEO, MEM, MIFIC/ADGEO, etc. Esto se efectuó a través de la recolección de datos, documentos (informes, estudios, artículos, revistas, tesis y otros trabajos), mapas (topográficos, geomorfológicos, geológicos, etc.) e imágenes (fotografías aéreas e imágenes satelitales) que abarcan el área de estudio.

1.4.1.2 Fotointerpretación

Se analizaron e interpretaron detalladamente fotografías aéreas a escala 1:40,000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1999), con lo

que se facilitó identificar diferentes rasgos morfoestructurales como: lineamientos, estructuras circulares, contactos geológicos, fallas, drenaje, etc., para comprobar y complementar la información obtenida de los mapas recopilados y realizar mapas bases de elevaciones, litologías y estructuras.

1.4.1.3 Generación y Elaboración de Mapas Base

Se digitalizaron curvas de nivel para obtener el mapa topográfico a escala 1:50,000 en el que se representa el relieve superficial del área, identificando así la morfología (valles, ríos, estructuras remanentes, etc.) y estructuras geológicas superficiales, tomando en cuenta el comportamiento de las curvas de nivel.

A partir del mapa topográfico se elaboró un mapa altimétrico que por medio de una gama de colores representa las diferentes elevaciones topográficas del área; un mapa de pendientes que representa a través de colores los diferentes grados de alturas entre las curvas de nivel del área; y un mapa de modelo sombreado que muestra en tres dimensiones las características del terreno. Mediante el análisis de estos mapas se identificó los diferentes patrones geomorfológicos, los principales rasgos estructurales y las direcciones de fallamiento que afectan el área.

En base a los mapas antes mencionados y a la interpretación de fotografías aéreas, se elaboró un mapa fotogeológico y de estructuras (preliminar) que refleja las principales zonas de interés geoestructurales, el cual fue usado de base para la etapa de campo.

1.4.2 Trabajo de campo

1.4.2.1 Reconocimiento de Campo

En esta etapa se realizó un reconocimiento general de campo para la localización de los principales afloramientos en los que se llevó a cabo el levantamiento de datos

estructurales, utilizando los mapas previamente elaborados. Luego se realizó la planificación del trabajo de campo.

1.4.2.2 Levantamiento Estructural

Durante esta etapa se realizaron mediciones de longitud, ancho, espesor, rumbo, buzamiento y desplazamiento en estructuras geológicas como: fallas, fracturas, diaclasas, calderas, domos y cuerpos intrusivos. Posteriormente se determinó la geometría, arreglo y terminación de las estructuras lineales geológicas, tomando en cuenta sus indicadores cinemáticos, como: elemento estriador, sistema conjugado, sigmoides, criterio escalonado, estructuras plumosas, estructuras lunares, venas, clivaje y criterio de clastos rotados, asimismo se clasificaron zonas de fallas en brecha de falla o harina de falla y se identificaron fracturas tipo R y P (Anexo 4), con el fin de conocer el tipo y comportamiento de fallas principales y secundarias.

1.4.2.3 Levantamiento Geológico

Luego se describió a detalle las diferentes unidades de rocas y contactos geológicos, así como también se colectó sistemáticamente muestras de rocas aflorantes (Anexo 1), realizando descripciones de muestras de mano en el campo para tener un mejor control de la geología superficial y posteriormente elaborar secciones delgadas.

1.4.3 Análisis e interpretación de los datos de campo

1.4.3.1 Rosetas de Fracturas

En esta etapa, se incorporaron los datos estructurales, en tablas de datos y rosetas de fracturas que consisten en un diagrama sencillo para facilitar la visualización de las direcciones de los rumbos generales de estructuras tabulares como diques, planos de debilidad como fracturas y fallas o la orientación de elementos lineales como ejes de pliegues, estrías y alineaciones minerales. Este diagrama está compuesto por una rejilla

de varios círculos concéntricos sobrepuestos sobre un conjunto de líneas radiales, donde el radio de cada círculo sucesivo es mayor que el radio del círculo previo y las unidades de distancia medidas a lo largo del radio representan una cantidad media, que es la cantidad de datos presentes dentro de un rango que se encuentra en el eje, desde el centro (0%) hacia el margen (100%).

De esta manera se elaboraron rosetas de fracturas en las que se distribuyen las líneas de rumbos generales mostrando la dirección preferencial de las estructuras geológicas, determinando así los esfuerzos que afectan el área de estudio.

1.4.3.2 Análisis Estructural

Se analizaron e interpretaron las diferentes características estructurales, asimismo los indicadores cinemáticos representativos de cada afloramiento, para obtener el mapa estructural del área con sus respectivos perfiles estructurales.

1.4.3.3 Elaboración de Secciones Delgadas

Posteriormente se elaboraron secciones delgadas de las muestras recolectadas para su análisis petrográfico (Anexo 2), con el fin de determinar el tipo de roca que caracteriza la zona y aportar información para la realización del mapa geológico del área de estudio.

1.4.4 Informe Final

Finalmente los datos obtenidos fueron debidamente modelados con ayuda de programas computacionales (Arcgis, CorelDraw, etc.) para elaborar el mapa geoestructural del área a escala 1:50,000 y a partir de la información analizada y procesada, se redactó el informe final.

TECTONICA DE AMERICA CENTRAL



Suramericana, que comprende una amplia zona de deformación caracterizada por plegamiento y fallamiento horizontal, compresional y extensional; al Este con la zona de subducción que forma las Islas Barbados y la Fosa de Tobago, ubicada entre las islas Barbados y las Antillas Menores; y al Oeste con la Fosa Mesoamericana (Dengo y Case, 1990; Donnelly et al.,1990).

Nicaragua, al igual que el resto de Centroamérica, se ubica en el límite Oeste de la Placa Caribe, desarrollándose en el Neógeno debido a la convergencia con la Placa de Cocos, a una velocidad aproximada de 8 cm/año y con un ángulo aproximado de 80° (Astrand, 1984). Los focos sísmicos asociados con el mecanismo de subducción, definen un buzamiento hacia el Noreste de la Zona de Benioff que se extiende a profundidades mayores de 200 km bajo América Central, formando la Fosa Mesoamericana (Dengo y Case, 1990).

La convergencia de ambas placas tectónicas (Placa de Cocos y Placa del Caribe) provocó en Nicaragua, esfuerzos de tensión local de rumbo NW-SE, producto de la compresión regional creada entre estas placas, permitiendo así la formación de la Depresión Nicaragüense a finales del Cenozoico, en cuyo extremo Noroeste se origina la Cadena Volcánica Cuaternaria a finales del Plioceno, como producto del material fundido a partir del choque de ambas placas (McBirney y Williams, 1965), extendiéndose desde el Golfo de Fonseca hasta la Isla de Ometepe, a lo largo del eje de dicha depresión en dirección NW-SE (Montero, 1990; Frischbutter, 2002).

En base a la composición de su basamento, América Central está constituida por bloques tectónicos con cortezas de diferentes naturalezas (Dengo, 1968,1985), cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos que han evolucionado a lo largo del Cenozoico y se caracterizan por fallas de desplazamiento horizontal, fallamiento

extensional, plegamiento compresional, empuje y deformación (Dengo y Case, 1990).

Estos bloques son:

- 1- **Bloque Maya:** de naturaleza continental, compuesto por rocas igneometamórfica cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico Superior. Localizado en la parte Norte de la Placa del Caribe abarcando el Sur de México y Norte de Guatemala.
- 2- **Bloque Chortis:** de naturaleza continental, compuesto por rocas metamórficas de edades Paleozoica a Pre-Terciario, intruidas por numerosos plutones de diferentes edades (Dengo y Case, 1990). Limitado al Noreste por la zona de Falla Motagua-Polochic y al Suroeste por la Fosa Mesoamericana (margen de la Placa de Cocos), abarcando el Sur de Guatemala, El Salvador, Honduras, el Norte de Nicaragua. En Nicaragua está representado por el Complejo Metamórfico Esquistos de Nueva Segovia o Formación Palacaguina, constituyendo las rocas más antiguas de Nicaragua, formada por una secuencia de facies de esquistos verdes con pequeñas capas de cuarcita y mármol (Bracci, 1957).
- 3- **Bloque Chorotega:** de naturaleza oceánica proveniente del manto astenosférico generado en la zona de dorsal del Pacífico Este y Las Galápagos (Denyer et al., 2000), compuesta por una secuencia ofiolítica de edad Cretácica, constituida por basaltos masivos en almohadillas, gabros peridotitas y peridotitas serpentinizadas sobreyacidas por sedimentos con abundantes restos de fósiles marinos conocidos como radiolarios (Dengo y Case, 1990). Abarca el Sur de Nicaragua, Costa Rica y Parte Central de Panamá.

CAPITULO III

GEOLOGIA REGIONAL DE NICARAGUA

La evolución geológica del Territorio Nicaragüense, debe entenderse en el contexto de la tectónica de placas, la que con una serie de fenómenos geológicos afecto en diferentes áreas e intensidades todo el territorio dando origen a la configuración geológica actual (Fig. 3).

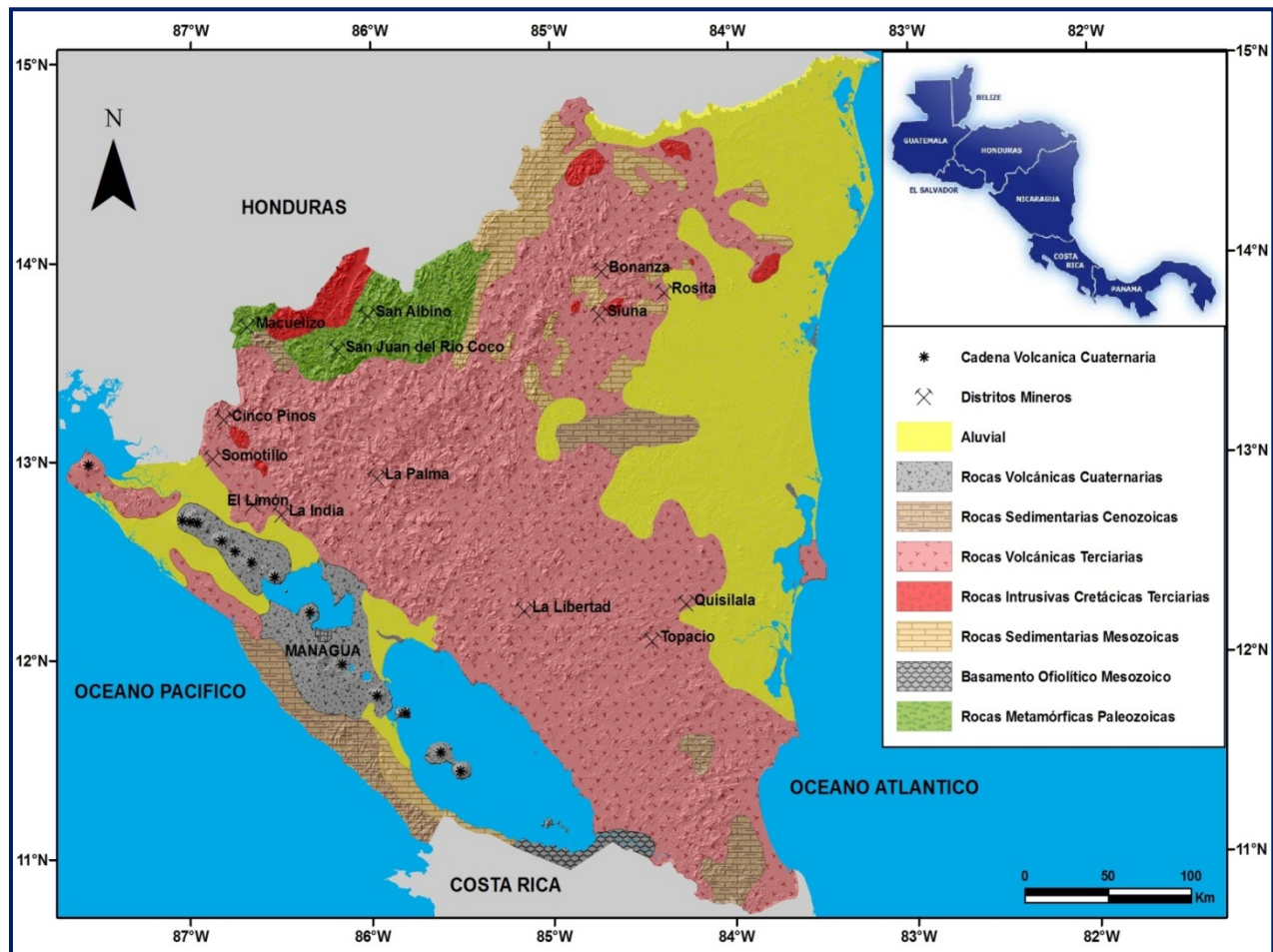


Figura 3. Mapa Geológico de Nicaragua
(Modificado del mapa geológico preliminar Esc: 1, 000,000, 1973. Tomado de Rodríguez, 1994).

Esta configuración inicia en el Paleozoico con el desplazamiento del basamento metamórfico cristalino, desde la parte norte de Centro América hasta la parte norte y centro de Nicaragua, constituyendo las rocas más antiguas del país. Este basamento está compuesto por rocas metamórficas como esquistos, filitas, mármoles, cuarcitas y gneises,

incluidas dentro de la Formación Palacaguina por Zoppis Bracci (1957) o Esquistos de Nueva Segovia por Del Giudice (1960), y se encuentran intruidas por cuerpos ígneos plutónicos del Mioceno, entre los que sobresale el Batolito de Dipilto constituido por granito, granodiorita, tonalita y diorita (Garayar, 1971).

Posteriormente, en el Mesozoico entre el Jurasico-Cretácico Inferior en la cuenca del Río Bocay al NE de Nicaragua, ocurrió la depositación de rocas sedimentarias como arcosas con intercalaciones de conglomerados, lutitas calcáreas, calizas, margas y dolomitas, las cuales fueron incluidas dentro de la Formación Metapan o Formación Todos Los Santos. Durante el Cretácico al SW de Nicaragua, se produjo la emersión del basamento ofiolítico incluyendo basaltos elipsoidales, aglomerados de basaltos, rocas intrusivas gabroicas, calizas silíceas, pedernales, grauwas y peridotitas serpentinizadas, representando un afloramiento del manto subcortical; todas estas rocas han sido agrupadas bajo el nombre de Complejo de Nicoya (Dengo, 1973). Sobreyaciendo en contacto discordante a este basamento, se encuentran rocas sedimentarias del Cretácico Superior, representadas por intercalaciones de estratos de areniscas y lutitas, contenidas dentro de la Formación Rivas.

Durante el Terciario, a partir del Eoceno hasta el Plioceno en la Costa del Pacífico Nicaragüense, se depositaron rocas sedimentarias en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico (Kuang, 1971), las cuales fueron agrupadas en cinco formaciones geológicas: Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación Tamarindo y Formación El Salto (Zoppis B. y Del Guidice, 1958), representadas por calizas, grauwas, areniscas, lutitas, conglomerados y tobas, exceptuando la Formación Tamarindo, que está representada principalmente por rocas volcánicas de composición básica-intermedia-ácida interdigitada en su parte inferior con lutitas y areniscas de la Formación El Fraile (Kuang, 1971). En cambio entre el Eoceno-

Plioceno, en las Tierras Altas del Interior de Nicaragua, se produjo la actividad volcánica Terciaria como consecuencia de la subducción de la Placa de Cocos por debajo de la Placa del Caribe, dando como resultado la depositación de considerables capas de rocas volcánicas incluyendo una serie de unidades sedimentarias epiclásticas y piroclásticas, comprendidas dentro de los grupos Matagalpa y Coyoil (McBirney y Williams, 1965; Parsons Corporation, 1972). Por el contrario, durante el Oligoceno, en la Parte Norte de Nicaragua, ocurrió la sedimentación de materiales de origen continental, representados por sedimentos clásticos y conglomerados, comprendidos dentro de la Formación Totogalpa.

A finales del Terciario e inicios del Cuaternario, se creó un sistema de fallas en dirección NW como resultado de esfuerzos locales de tensión, producidos por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe, lo que permitió la formación de la Depresión o Graben de Nicaragua, en la que se incluyen dos grupos geológicos, cuyas edades varían entre el Pleistoceno y el Holoceno, estos son: Grupo Las Sierras y Grupo Managua, representados por depósitos aluviales y piroclásticos que están rellenoando la depresión, estableciendo un espesor aproximado de 2000 m (Kuang, 1971); esta depresión comprende la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los Lagos de Nicaragua, constituyendo los principales rasgos de la actividad tectónica Cuaternaria de América Central (McBirney y Williams, 1965) y estructuralmente consiste en un graben amplio y superficial, con dirección Noroeste, limitado por dos sistemas de fallas normales paralelas (Kuang, 1971; Weinberg, 1990). En cambio, durante el Pleistoceno, en los Llanos de la Costa Atlántica Nicaragüense, ocurre la depositación de rocas sedimentarias y aluviales recientes, como consecuencia de la erosión en las Tierras Altas del Interior de Nicaragua; los cuales sobreyacen a las rocas sedimentarias Terciarias formando la Cuenca de Sedimentación de la Mosquitia y el Banco de Nicaragua, presentando ligeras extensiones

de rocas ígneas intrusivas y extrusivas. Estas rocas están incluidas en cinco formaciones y un miembro: Formación Bragman Bluff, Formación Martínez, Formación Mosquitia, Formación Punta Gorda, Formación Tuoche y Miembro Kamanon (Hodgson, 1971).

El área de estudio se localiza en la parte Nor-occidental de Nicaragua, formando parte de las Tierras Altas del Interior de Nicaragua, constituida por rocas y estructuras de carácter volcánico de edad Terciaria intruidas por cuerpos plutónicos, divididas en dos grupos geológicos principales (Parsons Corporation, 1972):

- El Grupo Matagalpa de edad Eoceno-Oligoceno (Ehrenborg, 1996), clasificado en tres subgrupos: Matagalpa Superior constituido por andesitas, basaltos y brechas aglomeráticas con intercalaciones de sedimentos lacustres, Matagalpa Intermedio caracterizado por andesitas y tobas ignimbríticas riolíticas a dacíticas y Matagalpa Inferior compuesto por depósitos piroclásticos y sedimentos tobáceos. Este grupo se encuentra yaciendo sobre una unidad de sedimentos tobáceos y rocas volcánicas interestratificadas de edad Cretácica Superior.
- El Grupo Coyol de edad Mioceno-Plioceno que sobreyace al Grupo Matagalpa fue subdividido, en base a dataciones radiométricas, en: Coyol Superior compuesto por basaltos andesíticos y aglomerados basálticos y Coyol Inferior constituido por flujos piroclásticos dacíticos a riolíticos, basaltos, basalto-andesitas, brechas y aglomerados, el cual equivale al Grupo Tamarindo de la Costa del Pacífico Nicaragüense.

Las relaciones entre ambos grupos es que poseen rocas regionalmente alteradas por las facies zeolíticas (Levy and Nyström, 1987), donde el Grupo Matagalpa presenta un dominio regional mayor que el Grupo Coyol (más local). Otra diferencia es que el Grupo Coyol presenta un volcanismo en estrato-escudo y volcanismo de domos riolíticos,

mientras que el Grupo Matagalpa presenta un vulcanismo ignimbrítico que es menos característico para el Grupo Coyol (Ehrenborg, 1996).

La actividad volcánica en las Tierras Altas del Interior de Nicaragua, finalizó con la formación de grandes calderas centrales acompañadas de alteración hidrotermal de domos riolíticos intra-caldera y pocos conos cineríticos de composición basáltico-andesítica.

CAPITULO IV

GEOLOGIA LOCAL

Tectónica y vulcanismo han sido los procesos geológicos constructivos más importantes en la evolución geológica del área de estudio, permitiendo así la formación de rocas volcánicas y plutónicas que varían desde básicas hasta muy acidas, las cuales pertenecen al Grupo Coyol de edad Terciaria cuyo rango varia del Mioceno al Plioceno.

Como resultado del levantamiento geológico realizado en el área (Anexo 1 y 2), se reconocieron ocho unidades litoestratigráficas, que corresponden a una secuencia estratigráfica producida por eventos volcánicos sucesivos a partir de varios puntos efusivos intruida por un cuerpo plutónico acido **(Fig. 4)**.

A continuación se describen las unidades litoestratigráficas, de la más antigua a la más reciente, como sigue:

- Unidad de Coladas Andesíticas (An)
- Unidad de Lavas Riolticas (R)
- Unidad de Coladas Dacíticas (Da)
- Unidad de Flujo Piroclástico Dacítico (Td)
- Unidad de Domos Intracaldéricos Riodacíticos (Rd)
- Unidad de Intrusivo Granodiorítico (Gd)
- Unidad de Coladas Basálticas (Ba)
- Unidad de Sedimentos Aluviales (al)

4.1 Unidad de Coladas Andesíticas (An)

Se caracteriza por ser la unidad de mayor extensión en el área de estudio y se presenta principalmente en la parte Noreste, Noroeste, Central, Central Sur, Este y Sureste, con un espesor aproximado de 300 m. Corresponde a la parte basal de la secuencia estratigráfica y está constituida por extensos flujos lávicos de composición andesítica, mostrando alteraciones hidrotermales tipo silicificación, oxidación y cloritización.

Esta unidad es sobreyacida por las unidades de coladas basálticas (Ba), lavas riolíticas (R), coladas dacíticas (D), tobas dacíticas (Td) y sedimentos aluviales (al) y se encuentra intruida por un cuerpo plutónico de tipo granodiorita (Gr), así como diques dioríticos y vetas de cuarzo (Rincón de García, Villanueva).

Está íntimamente relacionada a estructuras de antiguas calderas pequeñas, como las calderas de Chagüite Grande y San Ramón, ubicadas en la parte Central y Sureste del área de estudio, las que probablemente actuaron como fuentes volcánicas de coladas andesíticas. También se asocia a estructuras semicirculares como las observadas en El Pajuil y el Cerro Los Alacranes, ubicada en la parte Norte y Central Sur del área.

Morfológicamente se representa por cerros bajos alargados (300-400 m) formando lomas y cerros bajos aislados (100-200 m) en forma de conos, como se observa en las áreas de las Comarcas Las Jolotas, Mina de Agua, al Este del poblado Los Tololos, Aserradero, La Sabana, La Troja, El Salitre y San Ramón.

En la parte Noroeste del área, principalmente en los Lugares Las Jolotas (N1436249, E519613), Flor Azalia (N1434683, E514173) y Pozo Rico (N1433960, E515169); de igual forma en la parte Central Sur, en el Cerro Virginia (N1427800, E516131) y Cerro Grande (N1419500, E527300); y en la parte Noreste, en el Cerro El Chaparral (N1428200, E546300) y en el Lugar San Antonio (N1435700, E548250), las andesitas se observan

masivas aflorando en las laderas de los cerros y la mayoría de las veces se presentan en forma de bloques (Foto 1), como consecuencia del fallamiento intenso que afecta la zona.



Foto 1. Bloques de andesita aflorando en la ladera sur de la Loma El Coyol, El Sauce (N1436200, E547500).



Foto 2. Flujo de andesita aflorando en el lecho de la Quebrada El Sauce, El Sauce (N1424766, E552109).

A diferencia de las áreas antes mencionadas, en la parte Central, en el Lugar Llano La Pitahaya (N1424850, E532006); y en la parte Este, en los Lugares Los Peroles (N1427421, E551151) y La Jícara (N1424766, E552109), las andesitas se observan masivas aflorando en el lecho de las quebradas y los ríos (Foto 2), afectadas de igual forma por el fallamiento intenso característico de la zona de estudio.

Específicamente en el lecho de la Quebrada El Sauce (N1424766, E552109), las coladas andesíticas están orientadas N75°W, mostrando una inclinación hacia el SW (Foto 2), esto se debe a que el régimen tectónico que controla el área, afecto a estas coladas posterior a su formación, lo que se pudo evidenciar por la perpendicularidad de estas inclinaciones con la dirección de las fallas, en este caso la Falla La Jícara.

Macroscópicamente estas andesitas tienen textura porfirítica, con colores que varían de gris claro a gris oscuro cuando se encuentran sanas y grises con tonalidades verdosas, rojizas y cafés cuando están alteradas hidrotermalmente.

Microscópicamente estas rocas son hipocristalinas con textura porfídica y en algunos sectores glomeroporfídica (Foto 3), mostrando en mayor cantidad fenocristales de plagioclasas intermedias tipo andesina (25%) con 35% de anortita. Estas plagioclasas presentan formas prismáticas alargadas subhedrales macladas mostrando alteración tipo cloritización y zonadas mostrando alteración tipo saussuritización y pelitización (Foto 4). Algunas de estas plagioclasas tienen fracturas que están siendo rellenadas por hidróxido de hierro (hematita).

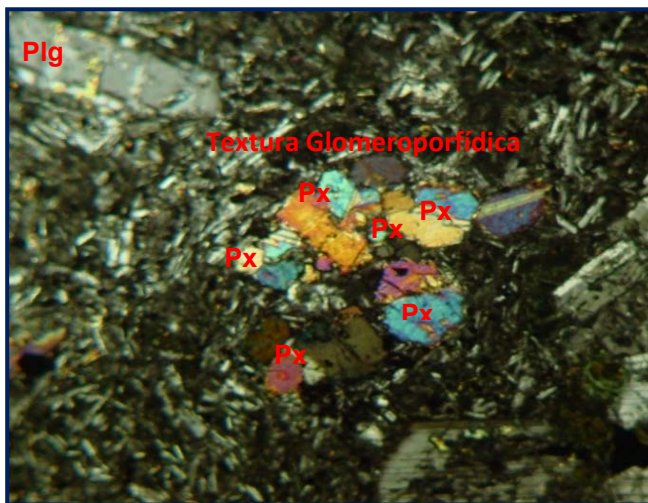


Foto 3. Fenocristales de piroxenos agrupados en partes de la roca, mostrando textura glomeroporfídica. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Cerro Virginia, Villanueva (N1427800, E516131).

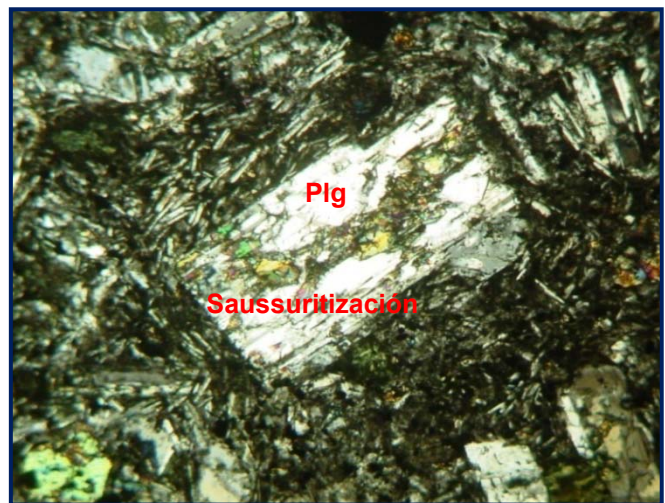


Foto 4. Fenocristal de plagioclase intermedia tipo andesina, mostrando alteración tipo saussuritización. Con nicoles cruzados, aumento 5X, Quebrada El Sauce, El Sauce (N1424766, E552109).

En menor proporción que las plagioclasas, están los fenocristales de piroxenos (clinopiroxenos) tipo augita (10%). Estos presentan formas prismáticas cortas subhedrales, mostrando alteración tipo cloritización por proceso de opacitización. Asociados a estos están los fenocristales de anfíboles tipo hornblenda (10%), los cuales presentan formas prismáticas alargadas subhedrales y muestran alteración tipo cloritización.

La matriz es microcristalina (50%) y está compuesta por microlitos de plagioclasas, piroxenos (alterados a clorita), minerales metálicos probablemente magnetita, polvo de

estos minerales y minerales arcillosos con oxido de hierro (5%). En algunas de las muestras la matriz esta desvitrificada a cuarzo secundario y sílice.

Algunas veces las muestras de andesitas, presentan amígdalas rellenas por zeolita y clorita rodeadas por cuarzo micrográfico (Foto 5 y 6), asimismo vetillas compuestas por microlitos finos de material secundario (zeolita) rodeados por cuarzo micrográfico, mostrando una textura de corona.

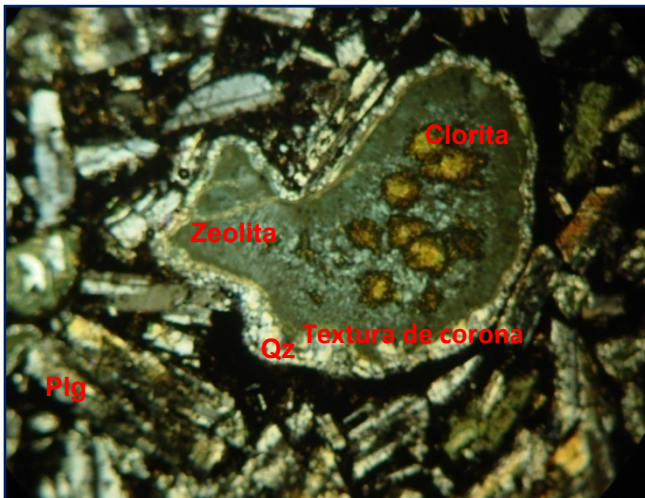


Foto 5. Andesita con amígdala rellena por zeolita y clorita, rodeada de cuarzo micrográfico secundario, mostrando textura de corona. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Las Jolotas, Villanueva (N1436249, E519613).



Foto 6. Andesita con clorita de aspecto escamoso y color verde, relleno amígdalas, inmersas en una matriz microcristalina con microlitos de plagioclasas. Con nicoles paralelos, aumento 5X. Las Jolotas, Villanueva (N1436249, E519613).

4.2 Unidad de Lavas Riolíticas (R)

Esta unidad se ubica en la parte Central y Noreste del área de estudio, con un espesor aproximado de 190 m y constituida por lavas de composición riolítica de textura fluidal y autobrechación con vetillas de sílice.

Es subyacida por la unidad de coladas andesíticas (An) y sobreyacidas por sedimentos aluviales (al) y está íntimamente relacionada a la Caldera La Coyotera, interpretada como extrusiones en forma de domos a lo largo del flanco Sur de una antigua estructura caldérica (Rodríguez, 1989).

Morfológicamente está representada por cerros bajos (200-300 m) y en forma de cúpulas bien redondeadas (100-200 m), como se observa en las áreas de los poblados La Coyotera, Rio Grande y La Sabana.

Al Sur de La Coyotera (N1431250, E525500) y Noreste de La Sabana (N1433750, E548750), las lavas riolíticas afloran masiva como extrusión lávica en forma de domo formando la Caldera La Coyotera y como domo intracaldérico de la Caldera La Sabana.

En cambio en el poblado de Rio Grande (N1435515, E546884), estas lavas riolíticas afloran en bloques masivos a ambos lados y en el lecho del Rio Grande, mostrando autobrechamiento y afectadas por fracturas que en su mayoría se encuentran rellenas de sílice (Foto 7).



Foto 7. Sílice relleno en fracturas en lavas riolíticas autobrechadas en Rio Grande, El Sauce (N1435515, E546884).



Foto 8. Rirolita autobrechada con líticos angulosos a subredondeados, de composición heterolitológica, flotando en una matriz de grano fino en Rio Grande, (El Sauce (N1435515, E546884).

Macroscópicamente estas lavas riolíticas autobrechadas, están formadas por líticos angulosos a subredondeados (3-34 cm) de composición heterolitológica inmersos en una

matriz afanítica de composición riolítica y presentan colores que varían de violeta cuando se encuentran sanas a moradas cuando están meteorizadas (Foto 8).

4.3 Unidad de Coladas Dacíticas (Da)

Unidad localizada en la parte Noroeste, Central Norte, Central Sur y Este del área de estudio, con un espesor aproximado de 300 m y constituida por flujos lávicos de composición dacítica, afectada por meteorización esferoidal o en capas de cebolla.

Esta unidad es sobreyacida por las unidades de tobas dacíticas (Td), domos Intracaldéricos riodacíticos (Rd) y sedimentos aluviales (al) y subyacida por la unidad de coladas andesíticas (An).

Está íntimamente relacionada a estructuras de antiguas calderas grandes, como las Calderas La Sabana y Las Limas, ubicadas en la parte Noreste de El Sauce, las que probablemente actuaron como fuentes volcánicas de coladas dacíticas y flujos piroclásticos dacíticos. También se asocia a estructuras semicirculares como la observada en el Cerro El Granadillo, ubicada en la parte Noroeste de Villanueva.

Morfológicamente está representada por grupos de cerros altos (400-800 m) y en forma de cúpulas bien redondeadas (300-400 m), como se observa en las áreas de las Comarcas Mina de Agua, La Carreta, La Sabana y Corre Viento.

En los alrededores del Cerro Los Pilares (N1427700, E551300) y Cerro El Carrizo (N1429500, E551300) al Noreste de El Sauce, afloran en bloques angulosos dispersos de hasta 2 m de alto y 3 m de ancho, en los que se puede observar pseudo-estratificación con espesores mayores a 20 cm (Foto 9).

A diferencia de los afloramientos antes mencionados, al Sur de El Sauce (N1421000, E553620) y al Noroeste del Lugar El Chaguite Grande (N1426200, E537350), la dacita

aflora masiva como extrusión lávica en forma de domo en la parte central de la Caldera Chaguite Grande y central sur de la Caldera San Ramón (Foto 10).



Foto 9. Bloque de lava dacítica de 2 m de alto y 3 m de ancho, con pseudo-estratificación. Laderas de los Cerros Los Pilares y El Carrizo, El Sauce (N1427700-1429500, E551300-551300).



Foto 10. Domo de lava dacítica dentro de la Caldera San Ramón al sur de El Sauce (N1420750, E553620).

Macroscópicamente estas dacitas tienen textura porfirítica y presentan colores que varían de gris claro cuando se encuentran sanas, a rosado grisáceo cuando están meteorizadas.

Microscópicamente estas rocas son hipocristalinas con textura porfídica, mostrando en mayor cantidad fenocristales de plagioclasas intermedias tipo oligoclasa (20%) con 25% de anortita. Estas plagioclasas presentan formas prismáticas alargadas subhedrales macladas, mostrando alteración tipo pelitización.

En menor proporción que las plagioclasas, están los fenocristales de cuarzo (10%). Estos presentan formas prismáticas cortas anhedrales bastantes redondeados y corroídos por la matriz (Foto 11).

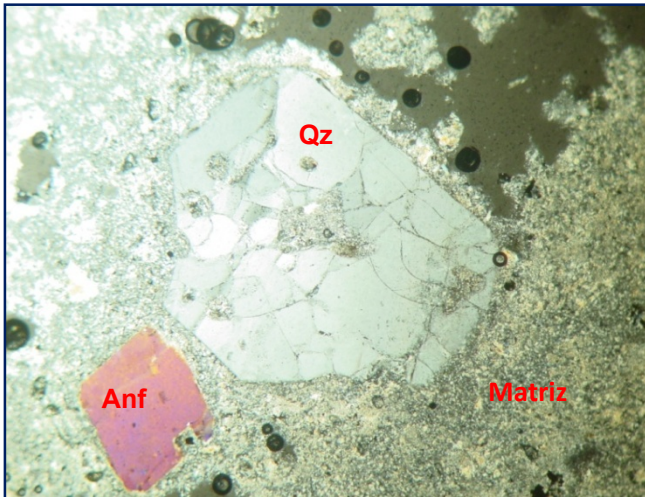


Foto 11. Cuarzo anhedral corroído por la matriz, típico de rocas volcánicas medias a ácidas. Con nicoles cruzados, aumento 5x. Las Zetas (N1429500, E551300).

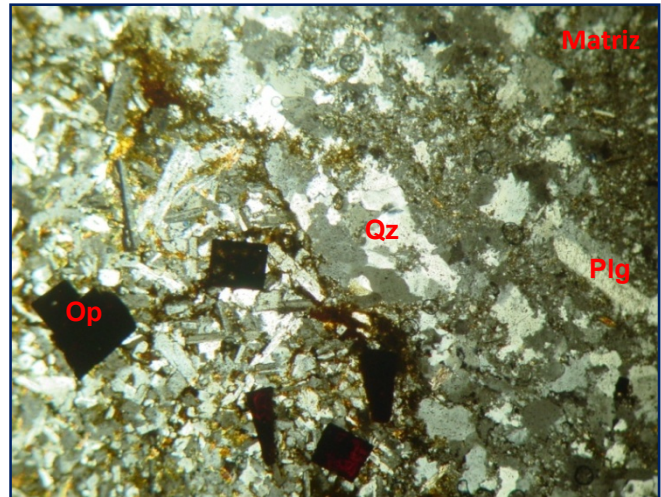


Foto 12. Plagioclasas mostrando alteración tipo pelitización y menas metálicas inmersas en una matriz microcristalina. Con nicoles cruzados, aumento 5x. Las Zetas (N1429500, E551300).

En poca proporción están los microfenocristales de anfíboles tipo hornblenda (5%), los cuales presentan formas prismáticas alargadas subhedrales y están asociados con microfenocristales de micas tipo biotita (5%), en forma de láminas delgadas (escamas).

La matriz es microcristalina (55%) y está compuesta por microlitos de plagioclasas, cuarzo, anfíbol, biotita y minerales metálicos (5%) probablemente magnetita (Foto 12).

4.4 Unidad de Tobas Dacíticas de Flujo (Td)

Esta unidad se concentra en la parte Noreste del área de estudio, con un espesor aproximado de 200 m y formada por un flujo de bloques de composición dacítica, afectado por meteorización en bajo grado. Esta unidad es subyacida por las unidades de coladas andesíticas (An) y coladas dacíticas (Da).

Morfológicamente se representa por cerros bajos (300-400 m), como se observa en el área de Corre Viento, en la comarca del mismo nombre, al Noreste de El Sauce. En los alrededores del Cerro El Tizate (N1430850, E551995) hacia Estelí, sobre la Carretera El Sauce-Estelí, las tobas dacíticas se observan masivas aflorando en las partes bajas de

las laderas en forma de bloques, producto del fallamiento intenso que afecta la zona de estudio.

Macroscópicamente estas tobas dacitas tienen textura porfírica psefítica y presentan colores que varían de gris oscuro cuando se encuentran sanas a gris claro cuando están meteorizadas (Foto 13).



Foto 13. Muestra de mano de toba dacítica porfírica psefítica, de color gris claro. Cerro El Tizate, El Sauce. (N1430850, E551995).

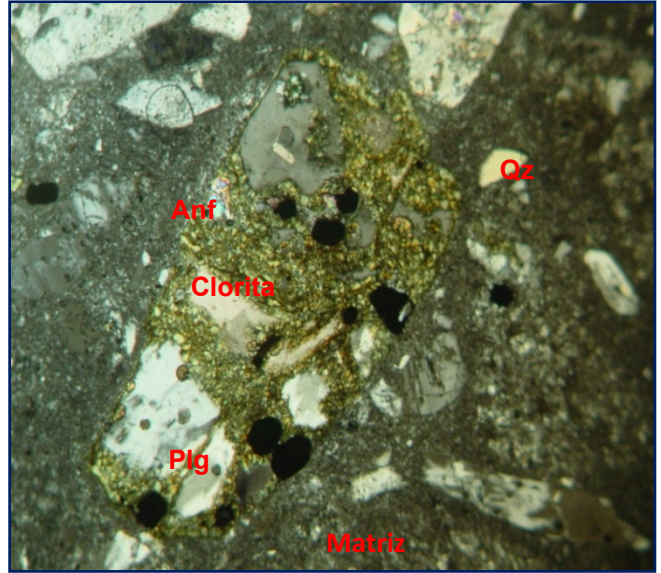


Foto 14. Toba dacítica con esqueleto de fenocristal de plagioclasa tipo oligoclasa, pseudomorfizada por por clorita y sílice. Con niclos cruzados, aumento 5x. Cerro El Tizate, El Sauce

Microscópicamente estas rocas son hipocristalinas con textura cristalovitrioclástica, mostrando en mayor cantidad fenocristales de plagioclasas intermedias tipo oligoclasa (25%) con 25% de anortita. Estas plagioclasas presentan formas prismáticas alargadas subhedrales macladas, mostrando alteración tipo albitización y carbonatización. Algunas se observan como esqueletos pseudomorfizados por clorita y sílice (Foto 14).

En menor proporción están los fenocristales de cuarzo (15%). Estos presentan formas prismáticas cortas anhedrales bastantes redondeados y corroídos por la matriz (Foto 15).

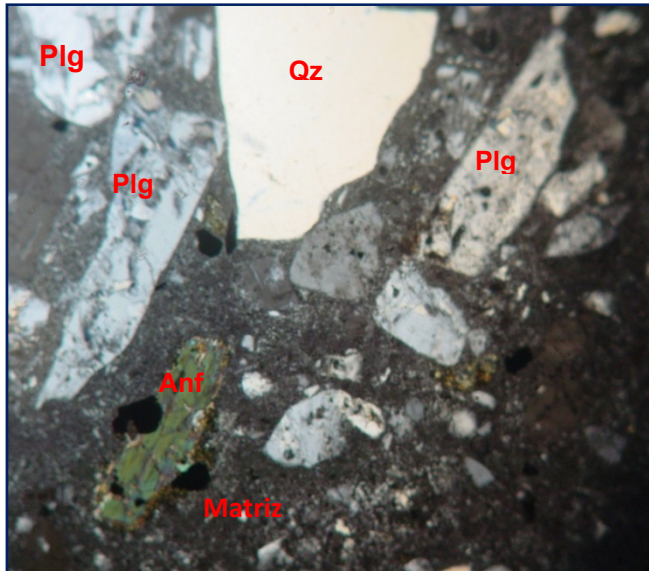


Foto 15. Toba dacítica con fenocristal de cuarzo anhedral corroído por la matriz desvitrificada y microfenocristal de hornblenda. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Cerro El Tizate, El Sauce (N1430850, E551995).

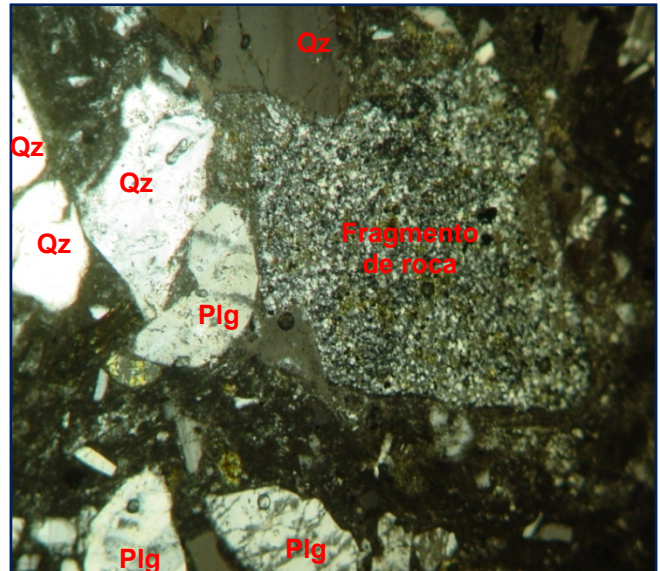


Foto 16. Toba dacítica con fragmento de roca y fenocristales de cuarzo, inmersos en una matriz desvitrificada. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Cerro El Tizate, El Sauce (N1430850, E551995).

Los microfenocristales de anfíboles tipo hornblenda (5%), presentan formas prismáticas alargadas subhedrales y muestran alteración tipo cloritización y carbonatización.

La matriz es microcristalina (55%) desvitrificada y como minerales accesorios están feldespatos potásico, zeolita, minerales metálicos y fragmentos de rocas (5%). (Foto 16).

4.5 Unidad de Domos Intracaldéricos Riodacíticos (Rd)

Unidad centralizada en la parte Este del área de estudio, con un espesor aproximado de 100 m y constituida por domos de lava de composición riodacítica, presentando en ocasiones meteorización esferoidal o en capas de cebolla. Esta subyacida por las unidades de coladas dacíticas (Da) y andesíticas (An).

Morfológicamente está representada por cerros bajos (300 m) en forma de cúpulas, como se observa en el área de Las Limas, en la Comarca Montaña, al Noreste de El Sauce. Al Noreste de Las Limas (N1429768, E551419), las riodacitas afloran masivas como

extrusión lávica en forma de domos controlados por la Falla Las Zetas, en la parte central norte de la Caldera Las Limas (Fotos 17 y 18).



Foto 17. Campo de domos de lava riodacítica, controlados por fallamiento dentro de la Caldera Las Limas, El Sauce (N1429768, E551419).



Foto 18. Domo riodacítico, afectado por meteorización esferoidal (N1429768, E551419).

Macroscópicamente estas riodacitas tienen textura porfírica con abundantes fenocristales de cuarzo, plagioclasas y feldespato potásico inmersos en una matriz oscura, presentando colores que varían de rosado cuando se encuentran sanas a rosado claro cuando están meteorizadas.

4.6 Unidad de Intrusivo Granodiorítico (Gd)

Esta unidad abarca la parte Central Norte del área de estudio, con un espesor aproximado de 300 m y está constituida por un cuerpo plutónico de composición granodiorítica, mostrando meteorización esferoidal o en capas de cebolla y alteraciones hidrotermales tipo silicificación y cloritización.

Se encuentra intruyendo a la unidad de coladas andesíticas (An) y a su vez está siendo intruida por diques de composición diorítica con granulometría media a fina y color gris oscuro, en las cercanías a la Finca Los Corredores (Coordenadas 1434980N, 533450E).

Se cree que está íntimamente relacionada a una estructura de lacolito (300 m de espesor y 14 km de diámetro) por su morfología de techo convexo hacia arriba y por deformar e inclinar la capa de andesita próxima a su intrusión.

Morfológicamente se representa por cerros altos en forma de conos (200-500 m), como se observa en las áreas de la Comarca Los Loros y Los Lirios, Lugar El Cangrejo, Los Playones, Mata de Caña, El Porvenir, La Vainilla, El Genízaro, La Herradura, Los Loros, El Papalón, El Cerro y Chagüite Grande.



Foto 19. Dique de composición diorítica intruyendo al cuerpo plutónico de composición granodiorítica Los Corredores, El Sauce (N1434980, E533450).



Foto 20. Bloques de composición granodiorítica mostrando meteorización esférica, situados en la ladera Oeste del Cerro Los Lirios, El Sauce (N1432250, E543300).

En los lugares Los Encuentros (N1433382, E537418) y El Gamalotal (N1433657, E534374) al NW de El Sauce, las granodioritas se observan masivas aflorando en el lecho de los ríos y quebradas; así mismo en los lugares El Platanal (N1434250, E534150) y Los Corredores (N1434980, E533450) al NW de El Sauce, con la diferencia de que en estos lugares las granodioritas están siendo intruidas por diques de composición diorítica (Foto 19). En todos estos afloramientos, estas rocas están siendo afectadas por el fallamiento intenso característico de la zona de estudio.

A diferencia de los afloramientos antes mencionados, en las cercanías al Cerro Los Lirios (N1432250, E543300) en la Comarca Los Lirios al NW de El Sauce, las granodioritas se observan masivas aflorando en forma de bloques en las laderas de los cerros, presentando en su mayoría meteorización esferoidal o en capas de cebolla (Foto 20).

Macroscópicamente estas granodioritas tienen textura fanerítica con inclusiones de xenolitos de rocas más antiguas, cuyo tamaño varía desde unos pocos milímetros hasta metros de diámetro. Presentan colores que varían de gris claro cuando se encuentran sanas a grises con tonalidades verdosas y rojizas cuando están alteradas hidrotermalmente.

Microscópicamente estas rocas son holocristalinas con textura hipidiomórfica y en algunos sectores micrográfica (Foto 21), mostrando en mayor cantidad fenocristales de plagioclasas intermedias tipo oligoclasa (35%) con 15% de anortita. Estas plagioclasas presentan formas prismáticas alargadas subhedrales macladas mostrando alteración tipo cloritización.

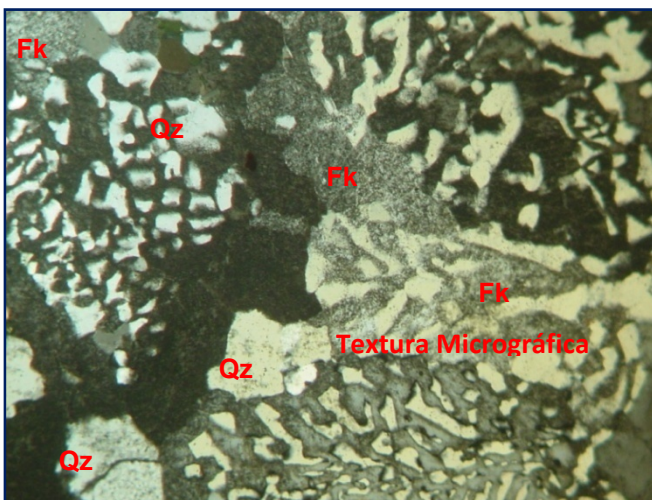


Foto 21. Granodiorita con textura micrográfica formada por el intercrecimiento de cuarzo en feldespato potásico. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Los Encuentros, El Sauce (N1433382, E537418).

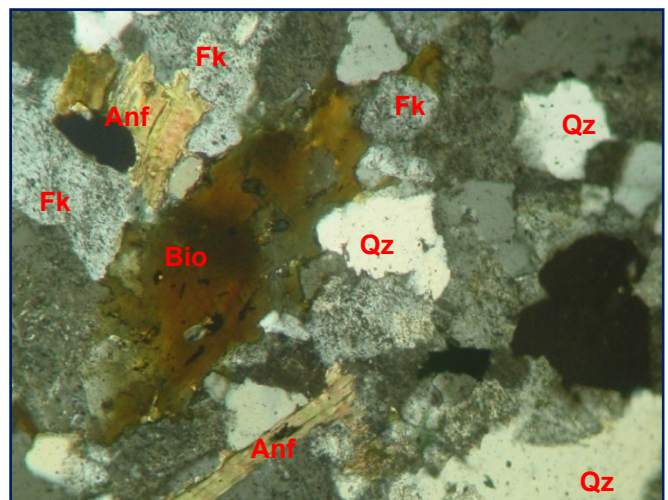


Foto 22. Granodiorita con microfenocristal de anfíbol tipo hornblenda, sustituido por clorita y mica tipo biotita. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Los Encuentros, El Sauce (N1433382, E537418).

Los microfenocristales de feldespato potásico tipo ortoclasa (25%), presentan formas prismáticas cortas anhedrales y muestran alteración a minerales arcillosos. En menor proporción están los fenocristales de cuarzo (20%), los cuales presentan formas prismáticas cortas anhedrales, algunos de estos están intercreciendo en cristales de feldespato potásico resultando lo que se conoce como textura micrográfica (Foto 21).

En poca proporción están los microfenocristales de anfíboles tipo hornblenda (10%), los cuales presentan formas prismáticas alargadas subhedrales y algunos están siendo sustituidos por clorita; asimismo los microfenocristales de micas tipo biotita (5%), en forma de láminas delgadas (escamas) anhedrales de color pardo (Foto 22).

Como minerales accesorios están los minerales metálicos (pirita), los que tienen formas prismáticas cortas anhedrales y se encuentran ampliamente distribuidos de forma irregular por toda la muestra.

4.7 Unidad de Coladas Basálticas (Ba)

Esta unidad está concentrada en la parte Central Sur del área de estudio, con un espesor aproximado de 100 m y constituida por flujos lávicos de composición basáltica, presentando en ocasiones alteración hidrotermal tipo cloritización. Sobreyacida por sedimentos aluviales (al) y subyacida por la unidad de coladas andesíticas (An).

Morfológicamente está representada por grupos de cerros alargados (40-100 m) formando lomeríos extensos y cerros con crestas continuas (50-100 m), como se observa en las áreas de las Comarcas Israel, Mayocunda y Las Garzas. En la Loma El Nancital (N1422019, E516052) al Suroeste de Villanueva aflora en bloques hexagonales poco erosionados, producto del diaclasamiento por enfriamiento rápido de la colada formando lo que se conoce como basaltos columnares (Foto 23).



Foto 23. Frente de una colada basáltica, diaclasada en bloques hexagonales formando basaltos columnares en la Loma El Nancital, Villanueva (N1422019, E516052).



Foto 24. Muestra de mano de basalto porfirítico de color negro, recolectada en Las Garzas, El Sauce (N1418700, E537900).

Macroscópicamente estos basaltos tienen textura porfirítica y presentan colores que varían de negro cuando se encuentran sanos (Foto 24) a gris oscuro cuando están alterados hidrotermalmente.

Microscópicamente la roca es hipocristalina y de textura porfídica, en donde la fase mineral más abundante son los fenocristales de plagioclasas básicas tipo labradorita (30%) con 54% de anortita. Estas presentan formas prismáticas alargadas subhedrales, las cuales están macladas y zonadas mostrando alteración tipo saussuritización y corroídas por vidrio volcánico.

Otra fase mineral, pero en menor proporción, son los fenocristales de olivino (15%). Estos presentan formas rómbicas cortas euhedrales, mostrando alteración tipo iddingsita (Foto 25). Asociados a estos están los fenocristales de piroxenos (ortopiroxenos) tipo hiperstena (10%), los cuales presentan formas prismáticas cortas subhedrales (Foto 26).

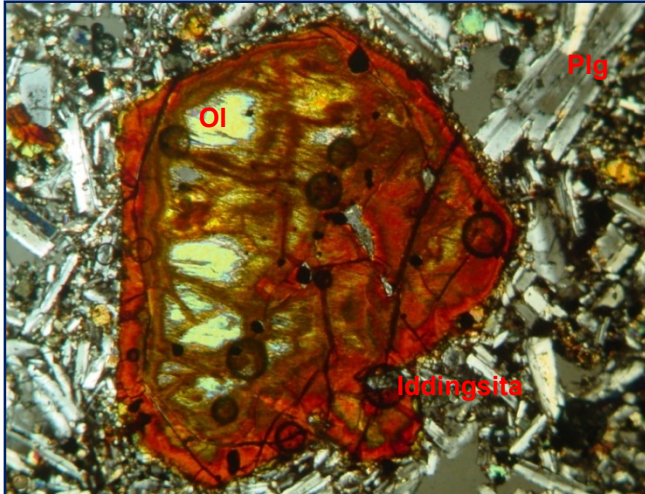


Foto 25. Basalto con fenocristal de olivino, mostrando alteración tipo iddingsita. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Las Garzas, El Sauce (N1418700, E537900).

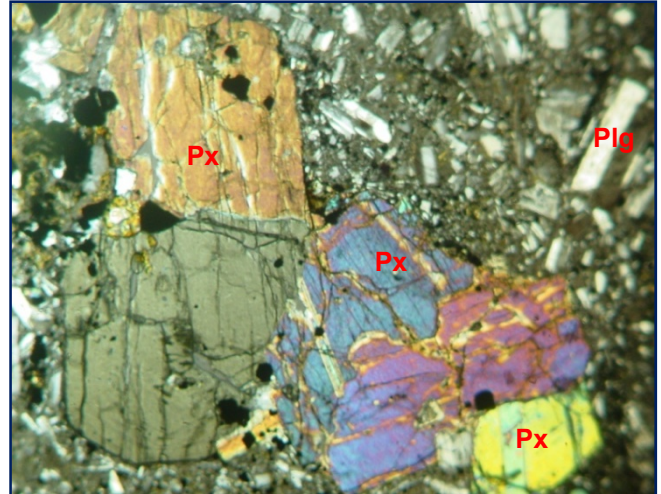


Foto 26. Basalto con fenocristales de piroxenos, inmersos en una matriz microcristalina. Con nicoles cruzados, aumento 5X. Las Garzas, El Sauce (N1418700, E537900).

La matriz es microcristalina (40%) y está compuesta por microlitos de plagioclasas, piroxenos no alterados (parcializados en zonas), minerales metálicos (magnetita) y óxidos de hierro entre fracturas (5%).

4.8 Unidad de Sedimentos Aluviales (al)

Esta unidad está ampliamente distribuida, especialmente en la parte Oeste y Central Sureste del área de estudio, con un espesor aproximado de 100 m. Corresponde a la parte superficial de la secuencia estratigráfica y constituida por sedimentos finos recientes y rodados de rocas de diferentes tamaños. Estos sedimentos se encuentran sobreyaciendo a las unidades de coladas andesíticas (An), coladas dacíticas (Da) e intrusivo granodiorítico (Gd).

Morfológicamente son zonas planas constituidas por una densa red de ríos principales y tributarios formando numerosos esteros y pequeñas quebradas, como se observa en las áreas de las Comarcas Cayanlipe, Cañafistola, Israel, Oeste de Mina de Agua, Mayocunda, La Concepción, Agua Fría, Los Panales N°1, Los Panales N°2 y Los Tololos.

En la parte Central Sureste del área, en las Comarcas Los Panales N°1, Los Panales N°2, Agua Fría y Los Tololos, estos sedimentos fueron meteorizados y erosionados de los altos topográficos situados a sus alrededores, para luego ser depositados y rellenar la depresión tectónica de El Sauce (Fosa) localizado en la parte Este del área, al Oeste de El Sauce.

CAPITULO V

GEOMORFOLOGIA

La forma actual del relieve del área de estudio es consecuencia del proceso geomórfico, controlado por diversas condiciones climáticas y afectado por estructuras geológicas a través de millones de años.

De acuerdo con el desarrollo de las corrientes de agua y la importancia geomórfica de estas, el área de Villanueva y El Sauce se encuentra en la Región Noroccidental de Nicaragua, caracterizada por presentar drenajes bien marcados en zonas llanas, provenientes de los altos topográficos.

Como resultado de la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:40,000) e imágenes de satélites; análisis de mapas: topográfico, altimétrico, pendientes y modelo sombreado (escala 1:50,000); y observación de geoformas del área, se clasifico el relieve del área, en cinco unidades geomorfológicas, cada una con sus subunidades correspondientes (**Fig. 5**), tomando como base las clasificaciones geomorfológicas propuestas por Van Zuidam, 1975 (Anexo 3):

- *Unidad de Origen Denudacional (D)*
 - Subunidad de Colinas Denudacionales (D_3)
- *Unidad de Origen Volcánico (V)*
 - Subunidad de Coladas de Lava (V_9)
 - Subunidad de Remanentes de Calderas (V_{14})
 - Subunidad de Colinas Volcánicas y Cerros Testigos (V_{16})
- *Unidad de Origen Estructural (S)*
 - Subunidad de Topografía Ondulada (S_1)
 - Subunidad de Domos (S_{10})

- *Unidad de Origen Intrusivo (I)*
- *Unidad de Origen Fluvial (F)*
 - Subunidad de Llanuras Aluviales (F₃)

5.1 Unidad de Origen Denudacional (D)

Esta unidad está relacionada a las formas originadas a partir de la acción erosiva y meteorización producida en las partes altas del área, para posteriormente depositarse al pie del talud y en algunos casos hasta las partes más bajas de la zona.

5.1.1. Subunidad de Colinas Denudacionales (D₃)

Subunidad concentrada en la parte Central y Noreste del área de estudio, en las Comarcas Mina de Agua, Aserradero y Las Garzas; y en los Lugares Los Rincones, El Genízaro, La Lanza, Rincón García, Mina de Agua y La Pitahaya.

Cubre un área aproximada de 155 km², abarcando un 20% del área total de estudio, siendo su máxima elevación el Cerro Colorado (N1431500, E534000), ubicado al NW de El Sauce, con alturas de 200-428 m.

El relieve de esta subunidad se caracteriza por presentar colinas con escasa vegetación y pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas y severamente disectadas, que varían entre 20°-60° aproximadamente. La topografía es ondulada con curvas de nivel muy continuas a distanciadas en las zonas de valles y elevaciones que oscilan entre 100-400 metros sobre el nivel del mar.

Hacia el Noroeste y Norte de la subunidad, en Los Rincones (N1433720, E533115), El Genízaro (N1432425, E531350) y La Lanza (N1432225, E34750) el drenaje es radial debido a las altas pendientes del terreno. Al Noreste de la subunidad hacia el Sur del Lugar Los Encuentros, el patrón de drenaje es subparalelo, indicando la presencia de

fallas locales. En toda la parte Sur en la Comarca Aserradero y sus cercanías, el patrón de drenaje es asimétrico, lo que indica la presencia de estructuras geológicas lineales.

Litológicamente esta subunidad se constituye de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica, con presencia de estructuras locales como: fallas, fracturas y diaclasas. Su origen se atribuye a la actividad del vulcanismo terciario asociado con la tectónica provocada por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe, y su forma actual está ligada a erosión fluviodenudativa que actúa sobre rocas miocénicas consideradas como las rocas más antiguas del área de estudio.

5.2 Unidad de Origen Volcánico (V)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir de la actividad volcánica ocurrida durante el Terciario, en donde la erosión no ha sido responsable de su construcción dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

5.2.1 Subunidad de Coladas de Lava (V₉)

Subunidad localiza en la parte Noroeste, Noreste y Sureste del área de estudio, en las Comarcas La Troja, Corre Viento, San Cayetano y La Carreta; y en los Lugares Las Mesas, La Puerta, El Chaparral, La Jícara, Poza Azul, La Tejera Esmeralda, Cofradía, Los Tololos, El Tejar, San José, Santa Bárbara y La Santillana.

Comprende un 15% del área total de estudio, abarcando un área aproximada de 110 km², siendo su mayor elevación el Cerro Chapetón (N1432550, E552800), ubicado al NE de El Sauce, con alturas de 360-661 m.

El relieve de esta subunidad se caracteriza por mostrar cuevas con pendientes suaves a moderadamente escarpadas y ligeramente disectadas, que varían entre 0°-60° aproximadamente. La topografía es ondulada a moderadamente abrupta con curvas de

nivel seguidas a un poco separadas a medida que disminuyen las elevaciones, las cuales oscilan entre 30-600 metros sobre el nivel del mar.

El drenaje característico es radial debido a las altas pendientes del terreno formado en los alrededores de los puntos máximos de estructuras volcánicas antiguas.

Litológicamente esta subunidad está constituida por flujos de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica-dacítica, afectadas por fracturas y diaclasas. Su origen se debe a la acumulación de magma fluido a través de erupciones efusivas de estructuras volcánicas terciarias provocadas por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe.

5.2.2 Subunidad de Remanentes de Calderas y Estructuras Semicirculares (V₁₄)

Esta subunidad se encuentra distribuida en la parte Noroeste, Central, Noreste y Sureste del área de estudio, en las Comarcas La Sabana, Wisquilí, Corre Viento, Montañita, El Salitre y San Ramón; y en los Lugares Cerro El Granadillo, El Pajuil, La Coyotera, Cerro Los Alacranes, Chagüite Grande y La Chocoya.

Abarca un área aproximada de 60 km², siendo su máxima elevación la Fila El Coyol (N1429850, E554225), ubicado al NE de El Sauce, con alturas de 360-820 m.

El relieve se distingue por exponer cordilleras con pendientes inclinadas a muy escarpadas y moderadamente disectadas, que varían entre 20°-80° aproximadamente. La topografía es moderada a abrupta con curvas de nivel bastantes continuas y elevaciones que oscilan entre 40-800 metros sobre el nivel del mar.

Los patrones de drenaje representativos son radiales y anulares debido a las altas pendientes alrededor del punto máximo del terreno haciendo que los cauces sigan líneas estructurales hacia afuera o hacia la parte interna de la caldera.

Litológicamente esta subunidad está formada por efusiones de rocas ígneas volcánicas de composición andesítica-dacítica, asociadas a zonas de fallas que provocan la aceleración de procesos de erosión y meteorización. Su origen se atribuye a una explosión súbita que vacio rápidamente la cámara magmática, colapsando la parte interna de la estructura.

5.2.3 Subunidad de Colinas Volcánicas y Cerros Testigos (V₁₆)

Subunidad concentrada en la parte Norte del área de estudio, en las Comarcas Las Jolotas y Los Achotes; y en los Lugares San Pascual, Los Diamantes, Santa Ana, San Ramón y Los Tololos.

Cubre un área aproximada de 55 km², siendo su mayor elevación el Cerro Puntudo (N1425220, E522900), ubicado al SW de Villanueva, con alturas de 50-166 m.

El relieve de esta subunidad se define por mostrar colinas y cerros con pendientes suaves a inclinadas que varían entre 0°-40° aproximadamente. La topografía es ondulada con curvas de nivel un poco distanciadas y elevaciones que oscilan entre 30-160 metros sobre el nivel del mar.

El drenaje típico de esta subunidad es el subdendrítico debido a la uniformidad en la litología del terreno.

Litológicamente esta subunidad está compuesta por rocas ígneas volcánicas de composición andesítica-dacítica, afectada por lineamientos y fallas. Su origen se debe a la erosión de una mesa formada a partir de la depositación de masas rocosas volcánicas, por lo que se encuentran en las cercanías a la roca madre que les dio origen.

5.3 Unidad de Origen Estructural (S)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir de la interacción entre los factores tectónicos producidos a lo largo de zonas de fallas, dando la forma actual del terreno de las siguientes subunidades:

5.3.1 Subunidad de Topografía Ondulada (S₁)

Subunidad localizada en la parte Central Sur del área de estudio, en las Comarcas Israel, Mayocunda y La Concepción.

Comprende un área aproximada de 8 km², siendo su máxima elevación la Loma Los Micos (N1419350, E531600), ubicado al SW de Villanueva, con alturas de 50-121 m.

El relieve se define por mostrar cuestas con pendientes suaves a moderadamente inclinadas que varían entre 0°-40° aproximadamente. La topografía es ondulada con curvas de nivel un poco separadas y elevaciones que oscilan entre 20-120 metros sobre el nivel del mar.

Litológicamente esta subunidad está formada por rocas ígneas volcánicas de composición basáltica, afectadas por estructuras locales como: fallas y diaclasas. Su origen se atribuye a la actividad del vulcanismo fisural terciario asociado a la tectónica provocada por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe.

5.3.2 Subunidad de Domos (S₁₀)

Subunidad situada en la parte Central, Noreste y Sureste del área de estudio, al NW de la Comarca Montañaíta y al SE de la Comarca San Ramón; y en los Cerros Mollejones, Chagüite Grande y Mina de Agua.

Cubre un área aproximada de 5 km², siendo su mayor elevación el Cerro El Guásimo (N1420800, E553500), ubicado al SE de El Sauce, con alturas de 300-321 m.

El relieve se determina por presentar cúpulas con cimas subredondeadas y pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas y medianamente disectadas, que varían entre 20°-60° aproximadamente. La topografía es moderada a abrupta con curvas de nivel bastantes continuas y elevaciones que oscilan entre 200-300 metros sobre el nivel del mar.

En la parte Noreste de la subunidad al NW de la Comarca Montaña, el drenaje es paralelo debido a la uniformidad en la pendiente del terreno.

Litológicamente esta subunidad se constituye de rocas ígneas volcánicas de composición dacítica-riodacítica, afectadas por fallas. Su origen se debe al ascenso de magma viscoso dentro de una estructura volcánica, controlada por fallas provocadas por la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe.

5.4 Unidad de Origen Intrusivo (I)

Esta unidad se ubica en la parte Central Norte del área de estudio, en la Comarca Los Loros; y en los lugares El Cangrejo, Los Playones, Los Corredores, Los Saucitos, El Gamalotal, Mata de Caña, El Matapalo, Paso La Bijagua, San Benito, Los Encuentros, El Porvenir, La Vainilla, El Papalón y Los Lirios.

Abarca un 10% del área total de estudio, cubriendo un área aproximada de 70 km², siendo su máxima elevación el Cerro Ahorca Caballo (N1434900, E543950), ubicado al NW de El Sauce, con alturas de 400-537 m.

El relieve de esta unidad, se distingue por exponer cuevas con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas y medianamente disectadas, que varían entre 20°-60° aproximadamente. La topografía es abrupta con curvas de nivel bastante seguidas y

elevaciones que oscilan entre 100-500 metros sobre el nivel del mar, originando valles profundos en forma de “V”.

Hacia el Noroeste de la unidad, en El Cangrejo (N1436970, E533250), Los Playones (N1436350, E532975), Mata de Caña (N1433450, E536175), El Porvenir (N1436575, E538250) y La Vainilla (N1436420, E539990), el drenaje es paralelo debido a la uniformidad en la pendiente del terreno mientras que en la parte Noreste y Sureste en Los Loros (N1433530, E541500), El Papalón (N1432350, E541820) y Los Lirios (N1431430, E542940), el patrón de drenaje es radial debido a las altas pendientes del terreno, ambos patrones de drenajes están influenciados fallas y zonas de fracturas.

Litológicamente esta subunidad está asociada a rocas ígneas plutónicas de composición granodiorítica, influenciada significativamente por estructuras locales como: diques, fallas y fracturas. Su origen se debe a la intrusión magmática acida a través de zonas de debilidad estructural, provocadas por la tectónica de placas.

5.5 Unidad de Origen Fluvial (F)

Esta unidad se relaciona a las formas originadas a partir del arrastre, depositación y relleno de materiales, efectuado por los ríos y quebradas, alcanzando amplitud en determinadas fases del desarrollo del drenaje así como en diversos sectores del mismo.

5.5.1 Subunidad de Llanuras Aluviales (F₃)

Esta subunidad se encuentra ampliamente distribuida en la parte Oeste y Central Sureste del área de estudio, en las Comarcas Cayanlipe, Cañafistola, Israel, Mina de Agua, El Pilon, Agua Fría, Los Panales N°1, Los Panales N°2, Los Tololos, constituyendo el 45% del área total de estudio y abarcando un área de 540 km².

El relieve se caracteriza por tener llanos con pendientes suaves que varían entre 0°-20° aproximadamente. La topografía es casi plana y escasamente irregular con curvas de

nivel bastante separadas y elevaciones que oscilan entre 0-150 metros sobre el nivel del mar.

Hacia el Suroeste del área de estudio, en Apancunca (N1423650, E504225), El Jicote (N1421450, E505625), Birmania (N1419920, E511325) y Mata Palo (N1419225, E512445) el drenaje es meándrico debido a que los ríos no poseen un gradiente que les permita movilizar grandes cantidades de agua provocando divagación lateral del agua y originando curvas en los ríos. En la parte Oeste de la Comarca Cayanlipe, Comarca Los Panales N°1, Los Panales N°2 y Comarca Los Tololos, los patrones de drenaje son paralelos y subparalelo debido a la uniformidad en la pendiente del terreno.

Litológicamente esta subunidad está constituida por sedimentos aluviales provenientes de rocas volcánicas con composición andesítica-dacítica. Su origen se debe a la depositación de materiales aluviales por parte de los ríos que la atraviesan, los cuales acumulan en forma vertical los diferentes tipos de depósitos aumentando su altura con el tiempo.

CAPITULO VI

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El ambiente estructural actual de Villanueva y El Sauce es consecuencia de la interacción entre las placas continental del Caribe y oceánica de Cocos, esta última es subducida debajo del continente a través de la Fosa Oceánica Mesoamericana, provocando esfuerzos de compresión y extensión que sobrepasan la resistencia mecánica de las rocas y producen deformación permanente, dando lugar a la formación de las estructuras geológicas regionales y locales que se muestran en el área.

Para establecer la cinemática en las estructuras geológicas del área de estudio, se utilizaron criterios de cizalla e indicadores cinemáticos (Anexo 4), lo que permitió definir el sentido de movimiento de bloques en las zonas de fallas. Las rocas del área se deforman y no recobran su estado original ante los esfuerzos y presentan un mecanismo de deformación frágil que genera zonas de cizalla bajo condiciones dúctiles-frágiles, las cuales pasan a ser zonas de fallas a medida que se asciende hacia la superficie terrestre.

Como resultado de la interpretación de fotografías aéreas (escala 1:40,000) e imágenes de satélites; así como, análisis de mapas topográfico, altimétrico, de pendientes y modelo sombreado (escala 1:50,000), combinado con la interpretación de los datos estructurales levantados en el área, se identificaron cuatro fases de fallamiento que corresponden a una secuencia geológica producida por eventos tectónicos y volcánicos sucesivos.

6.1 Consideraciones Teóricas

La corteza terrestre está expuesta a **esfuerzos** que tienden a desplazar y a distorsionar las rocas, las cuales se comportan de la siguiente manera:

- ✓ Elástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma, pero recupera su originalidad.

- ✓ Plástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma y no recobra su estado original, como es el caso del área de estudio.
- ✓ Viscoelástica: cuando se aplica esfuerzo la roca se deforma y recupera su originalidad con el tiempo.

La **deformación** de una roca es el cambio de su forma, tamaño y localización bajo la influencia de fuerzas externas (esfuerzos tensionales y compresionales) en la corteza terrestre. En dependencia de la composición química, contenido de agua, temperatura y presión confinante de la roca (Tolson, 1996), el mecanismo de deformación puede ser:

- ✓ Frágil: cuando el cuerpo se fractura y deforma por un esfuerzo, existiendo pérdida de cohesión, típica de rocas ígneas volcánicas y plutónicas como las encontradas en el área de estudio.
- ✓ Dúctil: cuando el cuerpo no se rompe solo acumula esfuerzo y no existe pérdida de cohesión.

En los niveles superiores de la corteza terrestre las rocas son deformadas frágilmente, mientras que a mayor profundidad la deformación tiene un comportamiento dúctil. La profundidad en que la deformación pasa de frágil a dúctil, es conocida como la *transición dúctil-frágil* (**Fig. 6**); esta generalmente se encuentra a unos 10-15 Km bajo la superficie terrestre (Sibson, 1990). En dicha transición se desarrollan ambos tipos de deformación, mientras que por encima o por debajo la importancia relativa de una de estas disminuye progresivamente.

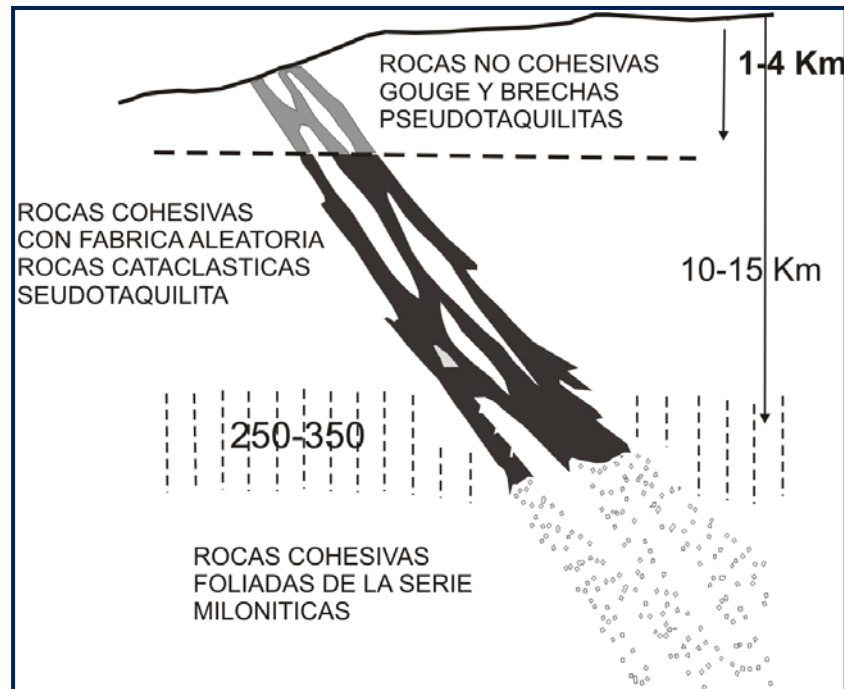


Figura 6. Esquema de una zona de cizalla y rocas asociadas. Transición dúctil-frágil en líneas verticales (Simplificada de Sibson, 1990).

De acuerdo al nivel de la corteza terrestre en que se trabaja, se determina el comportamiento de las rocas, los tipos de rocas de falla, la textura específica y estructuras de deformación.

6.1.1 Criterios de Cizalla

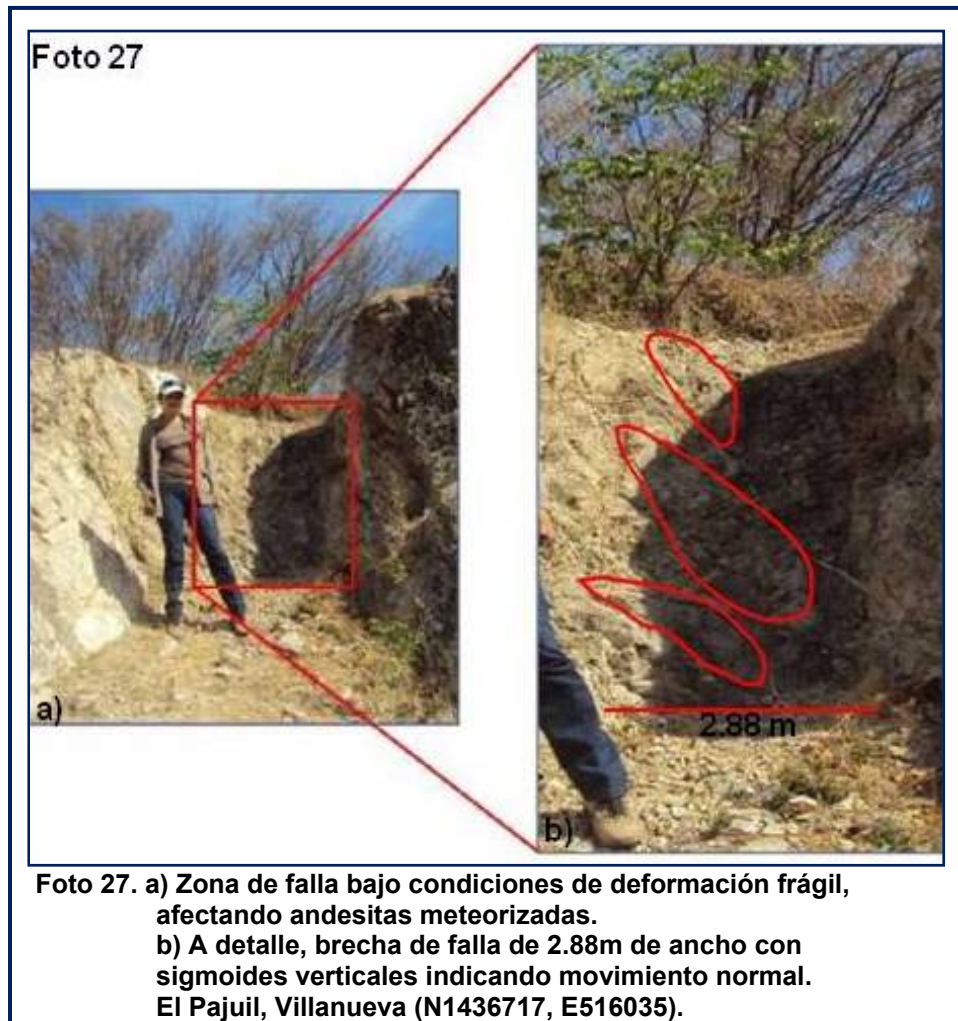
Una **zona de cizalla** corresponde a una ancha zona de deformación generada bajo condiciones dúctiles a dúctiles-frágiles, la cual puede gradar hacia arriba hacia una zona de falla. Las dimensiones de las zonas de cizalla pueden ser de carácter local o regional (Fig. 6).

De acuerdo a la cantidad de matriz generada durante el proceso de cizalla, la roca se clasifica en los siguientes tipos:

- ✓ Brecha de falla: fragmentos de rocas subangulares, originadas por la interacción mecánica entre dos bloques, como lo observado en la Falla San Cayetano

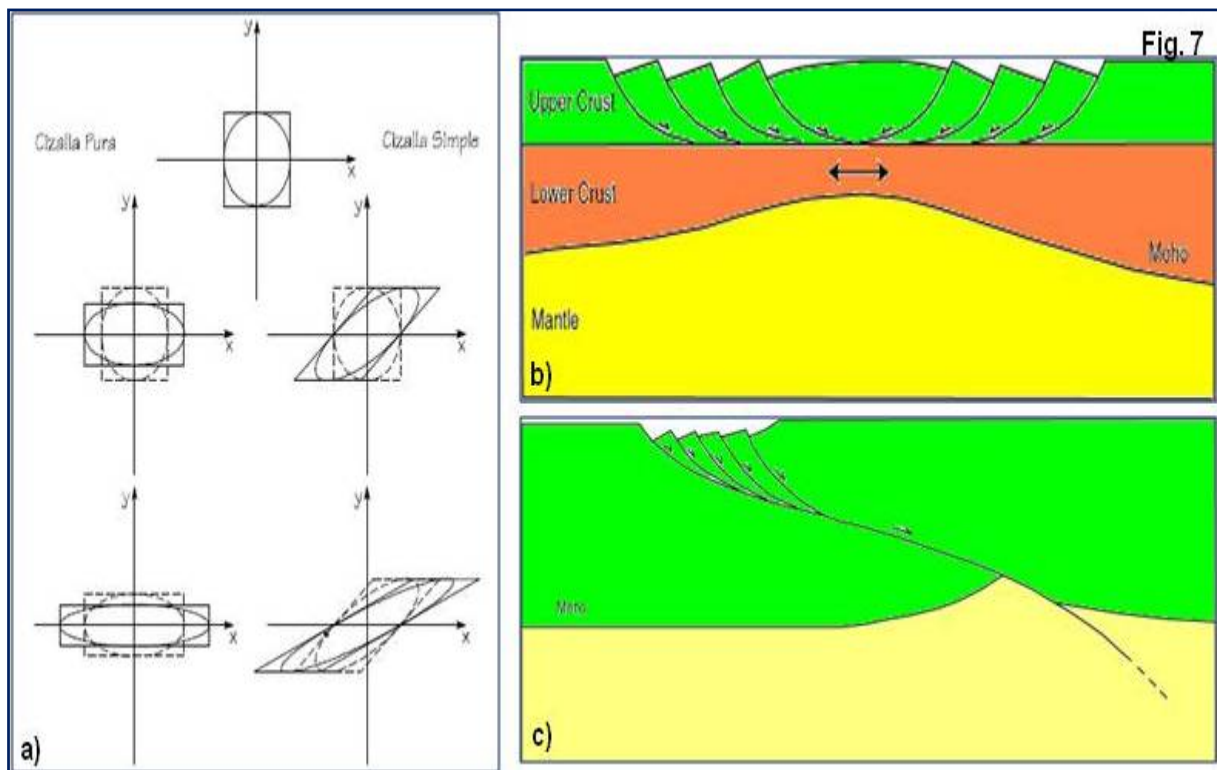
(N1427041, E551160), en donde se encontraron fragmentos de rocas andesíticas cementados por una matriz que constituye del 10% a 50% del material (Foto 27).

- ✓ Harina de falla (gouge, jaboncillo o arcilla de falla): rocas poco consolidadas y deleznales que mezcladas con agua genera zonas localizadas y de poco espesor en donde aparece un material pastoso, en general semejante a una arcilla, ejemplo de esto se muestra en la Falla San Ramón (N1436717, E516035), en la que se encontró rocas andesíticas cementadas por una matriz que constituye mas del 90% del material.



Existen dos tipos de cizalla por mecanismos de deformación (**Fig. 7a**):

- ✓ Cizalla Pura: Las estructuras se deforman de manera coaxial, no rotacional y simétrica (**Fig. 7b**), ejemplo de este tipo de cizalla es la formación de depresiones tectónicas y pilares tectónicos, como los encontrados en la parte central de la hoja topográfica de El Sauce, denominados en este trabajo como Depresión Tectónica El Sauce y Pilares Tectónicos Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce, respectivamente.



**Figura 7. a) Comparación geométrica de los sistemas de cizalla pura y simple, mostrando la rotación progresiva de la elipse de deformación finita con cada incremento de cizalla simple (Tolson, 1996).
b) Modelo de cizalla pura (Mickzie, 1978).
c) Modelo de cizalla simple (Wernick, 1981, 1982).**

- ✓ Cizalla Simple: Las estructuras se deforman de manera no coaxial, rotacional y asimétrica (**Fig. 7b**), como es el caso de fallas lítricas, en donde el cambio de ángulo de la falla principal origina rotación en los bloques. En la Loma El Coyol (N1436200, E547500), al NE de El Sauce, se encontró este tipo de cizalla,

originada a partir de una falla lístrica normal, en la que se observa estructuras en dominó debido a la rotación de la falla, producida por el cambio de ángulo de esta a medida que avanza a la superficie.

6.1.2 Indicadores Cinemáticos

El criterio más utilizado para determinar el sentido de movimiento relativo de bloques en zonas de fallas, es la observación y determinación de la separación de marcadores estratigráficos. Sin embargo muchas rocas carecen de este criterio, principalmente las rocas ígneas, debido a esto es frecuente recurrir a estructuras secundarias formadas durante el fallamiento conocidas como **indicadores cinemáticos** (García Palomo, 1998), cuya formación está controlada por:

- ✓ La presencia y geometría de juntas pre-existentes.
- ✓ Propiedades físicas de la roca como: porosidad, composición y propiedades mecánicas.
- ✓ Condiciones de esfuerzo y deformación (cantidad de deslizamiento, porcentaje de deformación).

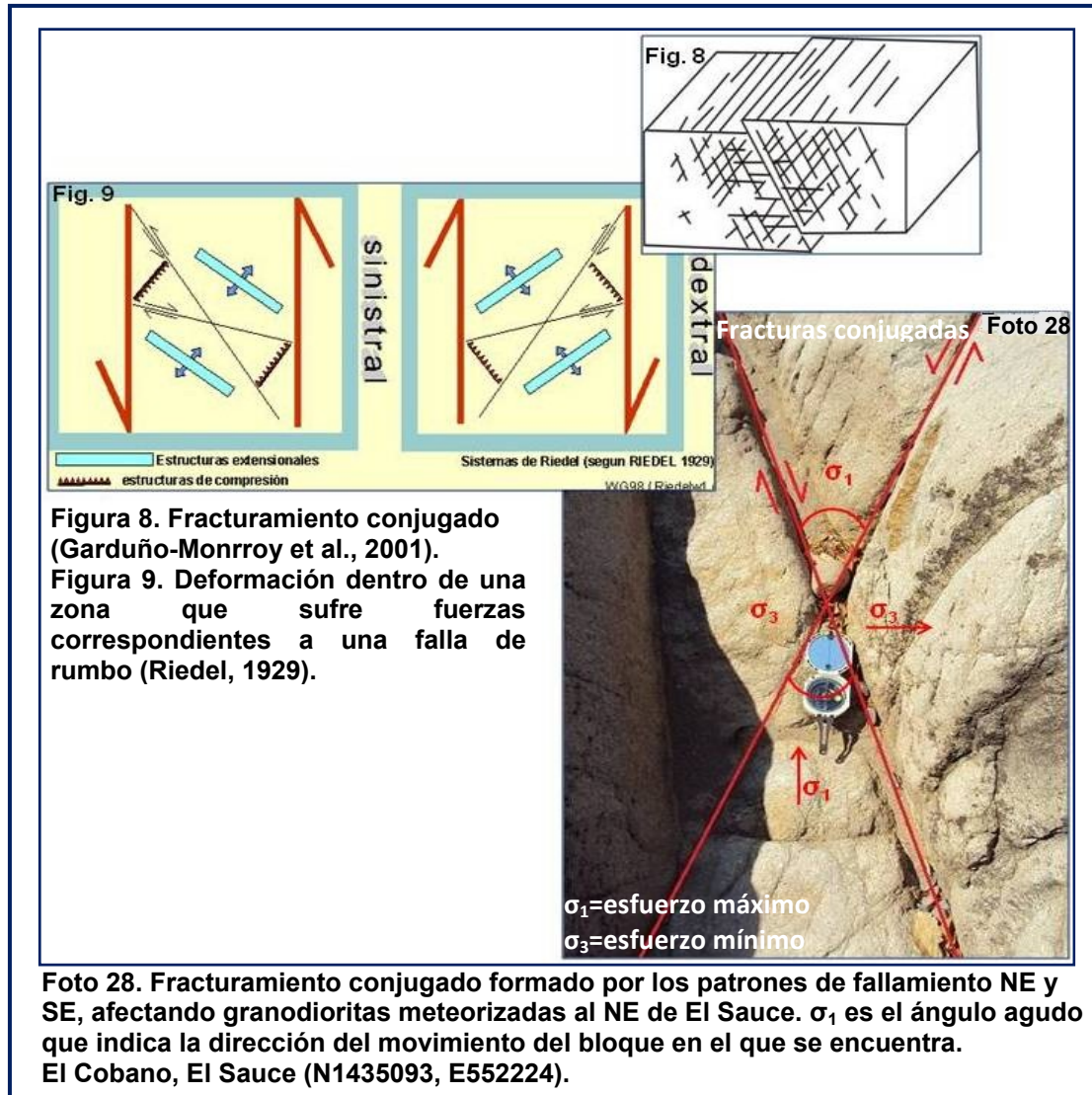
Para establecer la cinemática que actúa en el área de Villanueva y El Sauce, se identificaron los principales indicadores cinemáticos, los que se describen a continuación:

- ***Fracturamiento Conjugado***

El fracturamiento conjugado se produce en zonas de cizallas en donde se deforman las paredes de los bloques de la roca involucrada, formando un ángulo agudo entre ambas fracturas indicando la dirección del movimiento del bloque en que se encuentra contenido (Fig. 8 y 9).

Los sistemas conjugados se manifiestan en los distintos patrones de fallamiento de Villanueva y El Sauce, y se observan en cortes de caminos, ríos y quebradas afectando rocas plutónicas y volcánicas (Foto 28), siendo sus afloramientos más representativos Flor

Azalia (N1434683, E514173), El Cobano (N1435093, E552224) y Quebrada Grande (N1427421, E551151).

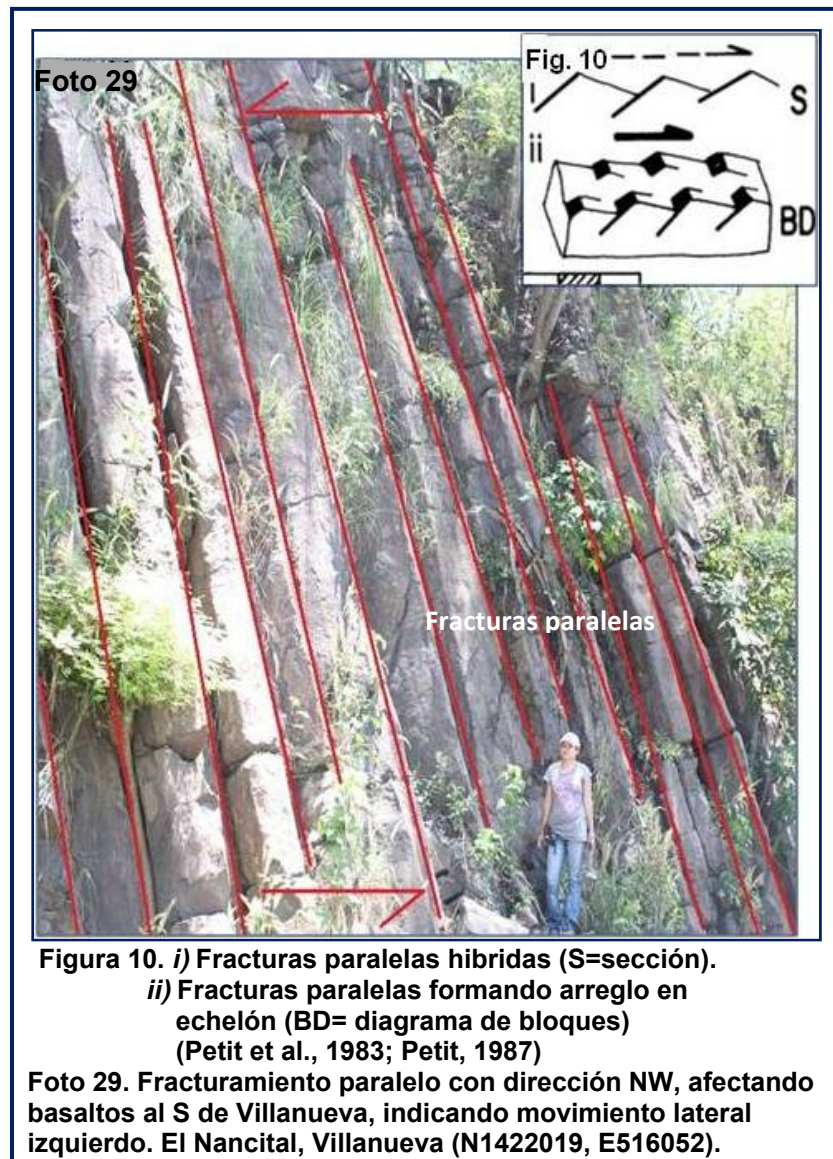


- *Fracturamiento Paralelo*

El fracturamiento paralelo es un sistema de fracturas que rumban en la misma dirección y delimitan zonas específicas de cizallamiento (Fig. 10).

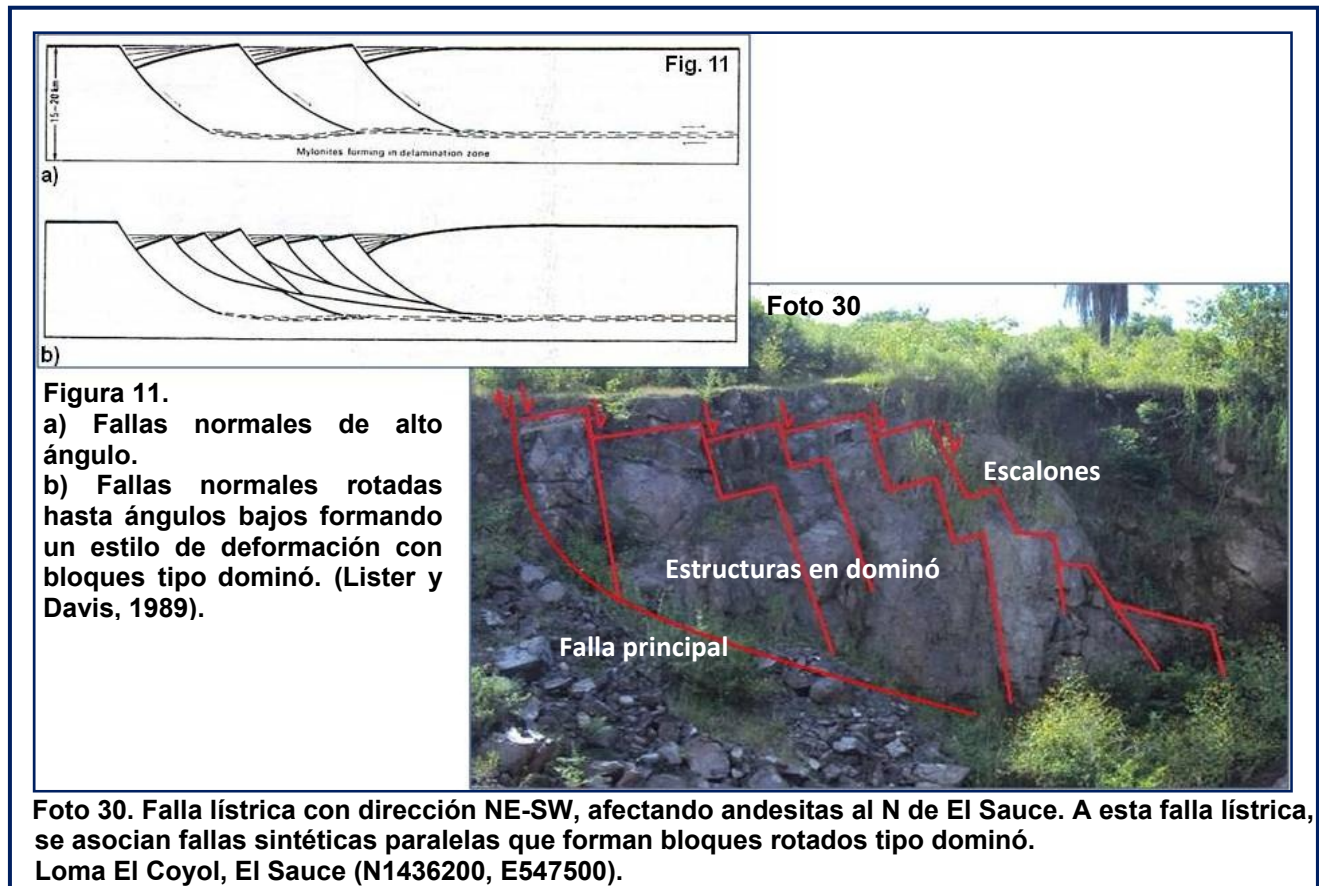
Los sistemas paralelos se muestran en los diferentes patrones de fallamiento del área de estudio y se observan en cortes de caminos, ríos y quebradas afectando rocas intrusivas

y extrusivas (Foto 29) y aflorando principalmente en El Nancital (N1422019, E516052), El Gamalotal (N1433657, E534374) y Quebrada Grande (N1427421, E551151).



- **Fallamiento Lístrico**

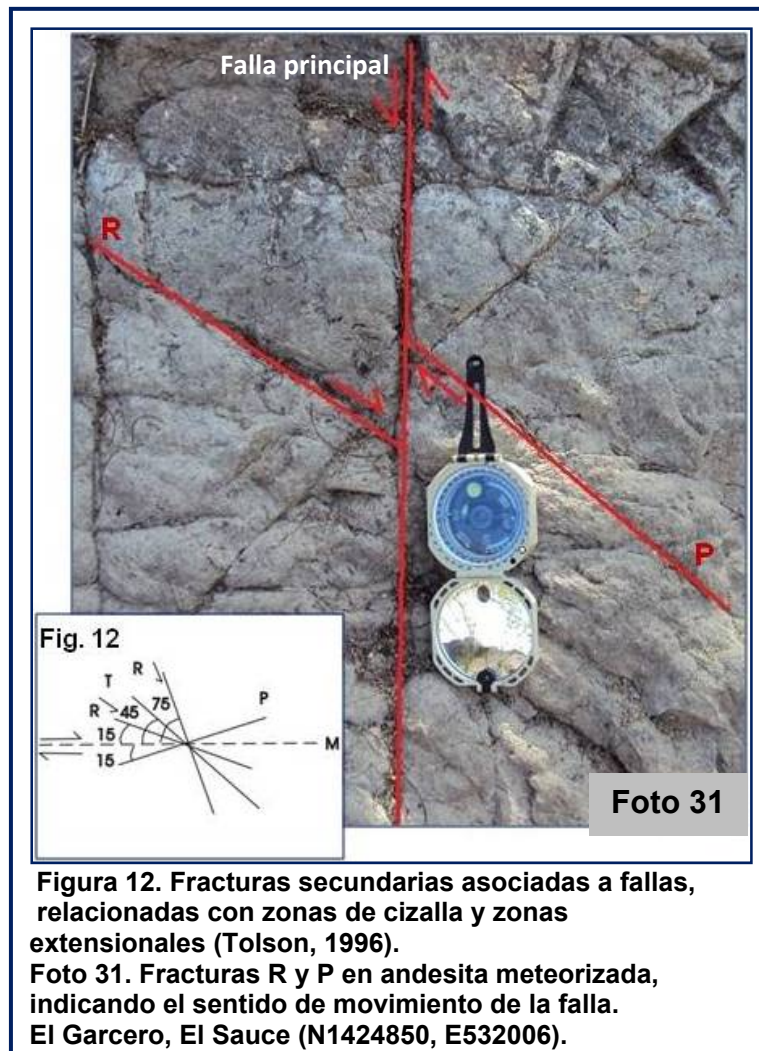
Es un fallamiento de tipo normal en donde el ángulo del plano de falla cambia de dirección ocasionando movimientos rotacionales en bloques delimitados por *fallas sintéticas* y *antitécticas*, las cuales son planos de fracturas que van paralelas y en contra del plano de falla principal formando las llamadas *estructuras en dominó* (**Fig. 11a y 11b**).



El fallamiento lístrico se observó únicamente en el patrón de fallamiento NE-SW en la cercanía al poblado de Rio Grande, específicamente en el corte de camino de la Loma El Coyol (N1436200, E547500) afectando rocas volcánicas de composición andesítica (Foto 30).

- *Fracturas Secundarias asociadas a Fallas*

Las fallas desarrollan una serie de fracturas secundarias cuya orientación y cinemática indican el sentido de desplazamiento de la falla principal. Estas fracturas pueden ser de cizalla **R** y **P** o extensionales **T**, en donde **R** apunta hacia el bloque que baja y la fractura **P** hacia el bloque que sube (**Fig. 12**).



En el área estas fracturas se encontraron en los patrones de fallamiento NW-SE y NE-SW observados en lechos de ríos y quebradas afectando rocas plutónicas y volcánicas (Foto 31), aflorando únicamente en El Cobano (N1435093, E552224) y El Garcero (N1424850, E532006).

- *Sigmoides*

Son lentes de cizallamiento formados por la intersección entre fracturas R y P en echelón, originadas durante las fases iniciales de movimiento sobre una zona de fallas de deformación frágil. A través de estos lentes de cizallamiento se determina el sentido de movimiento, ya que los extremos apuntan en la dirección de cizallamiento (**Fig. 13**). En

muchas ocasiones la zona de cizalla es acompañada por un arreglo anastomosado de estructuras sigmoidales (García-Palomo, 2002).

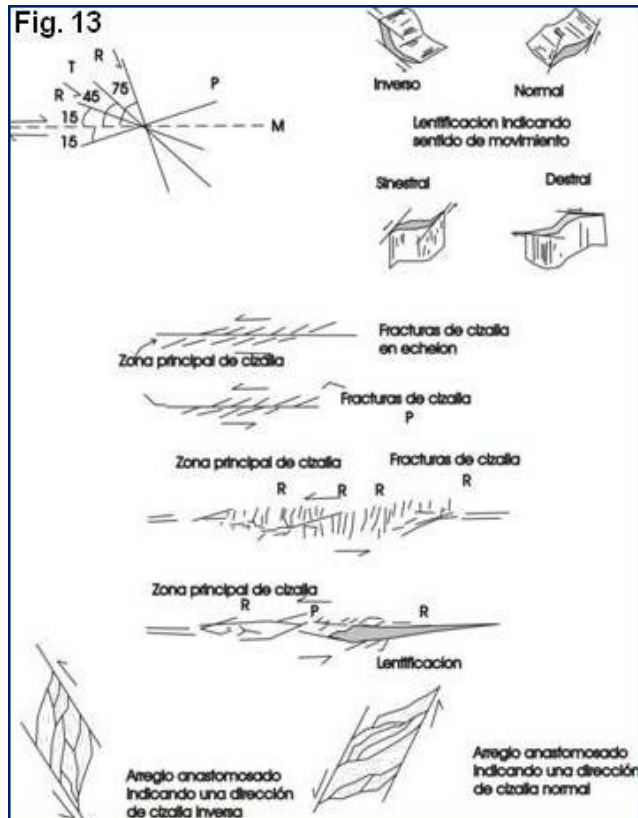


Figura 13. Diferentes estructuras sigmoidales (García Palomo, 2002).

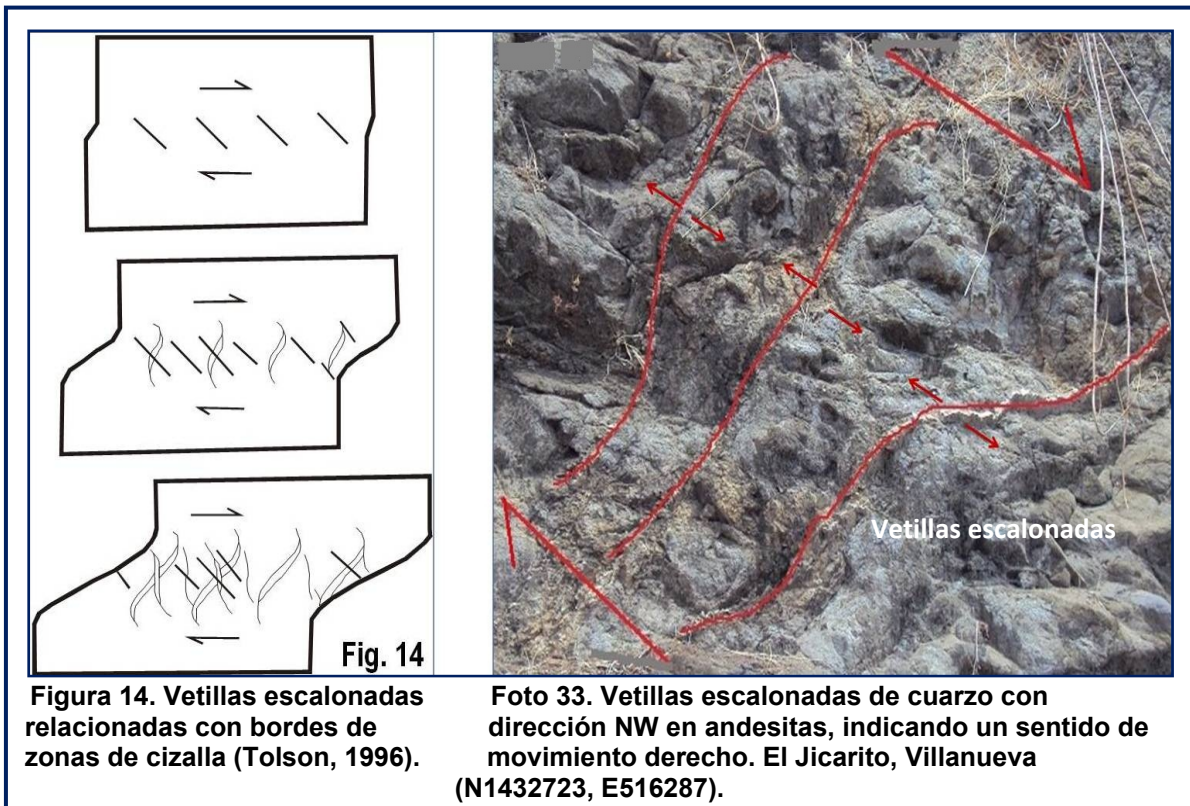


Foto 32. a) Sigmoide vertical en andesita, indicando el sentido de movimiento normal Loma El Coyol, El Sauce (N1436200, E547500). b) Estructuras sigmoidales con arreglo anastomosado en andesita, indicando movimiento lateral derecho Quebrada Grande, El Sauce (N1427421, E551151).

Las estructuras sigmoidales tanto verticales como recostados y los arreglos anastomosados formados por los diferentes patrones de fallamiento son bastantes comunes en el área de estudio y se observan en cortes de caminos y quebradas afectando rocas intrusivas y extrusivas (Foto 32a y 32b), principalmente en Loma El Coyol (N1436200, E547500), Loma Los Laureles (N1427041, E551160), Quebrada Grande (N1427421, E551151) y Los Encuentros (N1433382, E537418).

- *Vetillas Escalonadas*

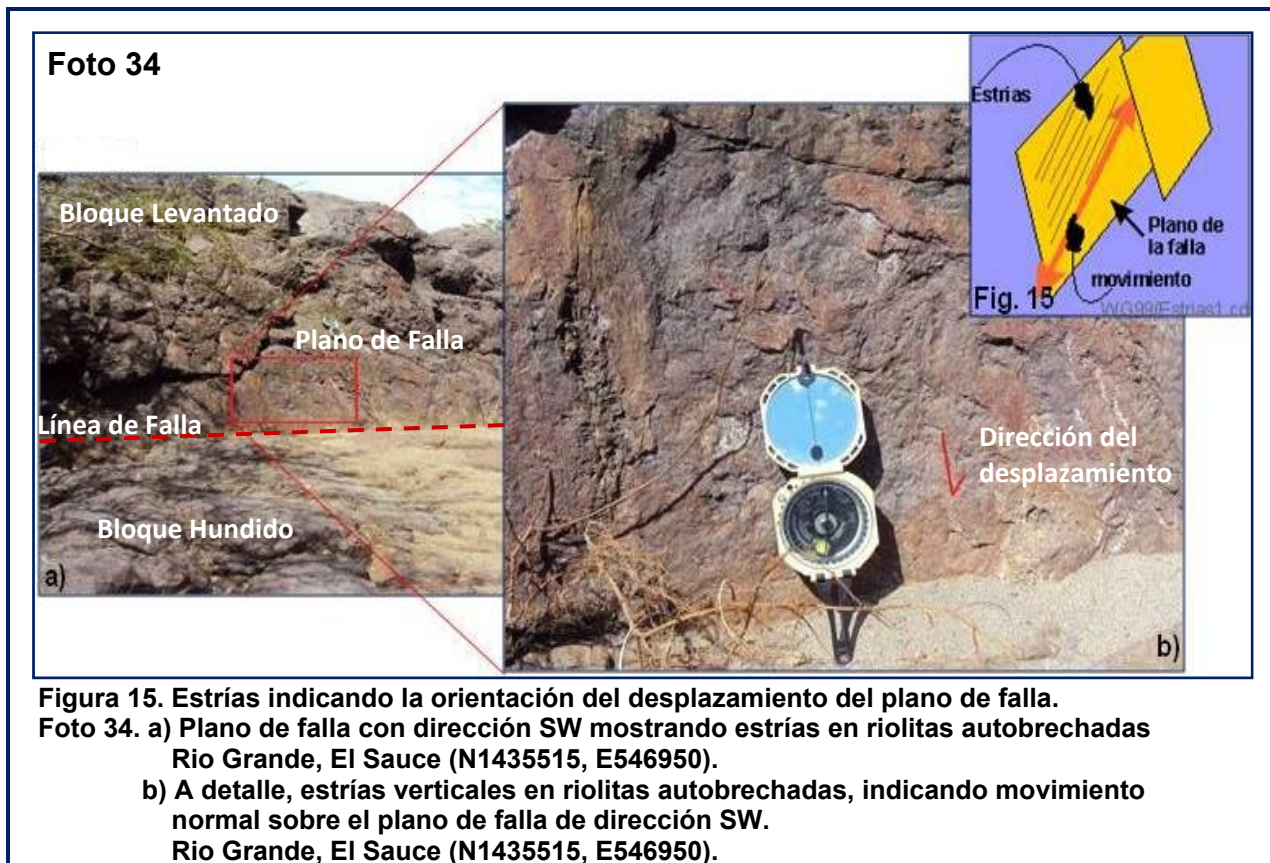
Son muy comunes en las zonas de cizalla a aproximadamente 45° de la dirección de esta (cizalla) y se encuentran típicamente rellenas de cuarzo y calcita. Una vez cristalizadas pueden ser plegadas y rotadas adquiriendo una geometría sigmoidal (**Fig. 14**).



Las vetillas escalonadas formadas por los patrones de fallamiento NE-SW y NW-SE se observan únicamente en la hoja topográfica de Villanueva, en cortes de caminos afectando rocas volcánicas de composición andesítica (Foto 33), aflorando en Flor Azalia (N1434683, E514173) y El Jicarito (N1432723, E516287).

- *Estrías*

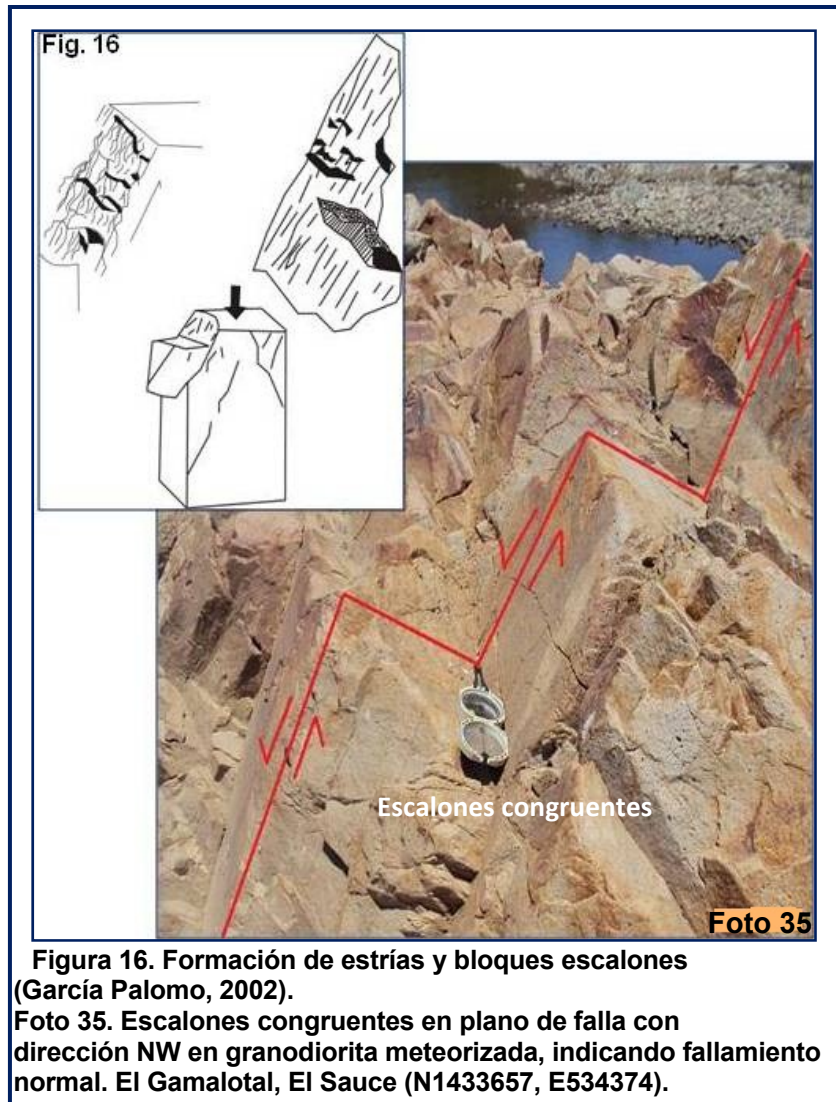
Son líneas finas sobre un plano de falla, formadas durante el desplazamiento relativo de dos bloques, las cuales indican la orientación del desplazamiento y sentido de movimiento de los bloques (**Fig. 15**).



Las estrías se encontraron únicamente en la hoja topográfica de El Sauce en los patrones de fallamiento NE-SW y NW-SE, observados en cortes de caminos y lechos de ríos afectando rocas plutónicas y volcánicas (Foto 34a y 34b), siendo sus principales afloramientos Loma El Coyol (N1436200, E547500), El Pajuil (N1436717, E516035) y Rio Grande (N1435515, E546950).

- **Bloques Escalonados**

En algunos casos el movimiento sobre el plano de falla no es continuo y suele hacer pausas antes de concluir con su desplazamiento, dejando estructuras escalonadas que ayudan a determinar el sentido de movimiento de la falla principal. Estos escalones pueden ser *congruentes* cuando tienen el mismo sentido de movimiento de la falla principal, e *incongruentes* cuando están en sentido contrario al movimiento (**Fig. 16**).



En el área de estudio, los bloques escalonados formados por los patrones de fallamiento NE-SW y NW-SE se observan en cortes de caminos, ríos y quebradas, afectando rocas intrusivas y extrusivas (Foto 35), cuyos afloramientos principales se encuentran en: Loma Los Laureles (N1427041, E551160), El Gamalotal (N1433657, E534374) y Quebrada Grande (N1427421, E551151).

6.2 Morfología Estructural

La morfología estructural de Villanueva y El Sauce se definió a través del estudio de todos los aspectos relacionados entre las formas del terreno (morfología) y las expresiones estructurales de origen tectónico (estructuras geológicas).

Para realizar un análisis completo de las formas del terreno, se elaboraron varios mapas que ayudaron a definir las características morfoestructurales de Villanueva y El Sauce, entre ellos:

6.2.1 Mapa Topográfico

El mapa topográfico es una representación de la superficie terrestre a través de curvas de nivel, teniendo como finalidad mostrar las variaciones del relieve. Las curvas de nivel del área de estudio presentan una orientación preferencial NW-SE, con una altitud que varía de los 20 a 820 msnm y un desnivel de 800 m (**Fig. 17**).

En base al análisis de este mapa, se identificaron cuatro zonas con diferentes comportamientos entre las curvas de nivel:

- La primera zona se encuentra distribuida en la parte Noroeste, Central, Noreste y Sureste del mapa y se caracteriza por presentar curvas circulares y continuas en dirección NW, que constituyen prominencias topográficas con alturas entre 40 y 820 msnm, interpretadas en este trabajo como estructuras semicirculares, antiguas calderas y estructuras dómicas.
- La segunda zona se concentra en la parte Oriental del mapa, específicamente en la hoja topográfica El Sauce, con curvas de nivel alineadas y espaciadas en dirección N-S-N8°W, que definen estructuras lineales con alturas entre 140-200 msnm, denominadas como fallas Chaguite Grande, Los Loros, El Cerro y El Sauce, las que delimitan los pilares tectónicos Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce.

MAPA TOPOGRAFICO

- La tercera zona se localiza en la parte Central Norte del mapa, únicamente en la hoja topográfica El Sauce, mostrando curvas concéntricas poco espaciadas con dirección NW, que forman prominencias topográficas con alturas entre 200-540 msnm y constituyen el cuerpo intrusivo del Sauce.
- La cuarta zona se ubica en la parte Oeste y Central Sureste del mapa, con curvas de nivel bastante espaciadas en dirección N-NW, representando las zonas más bajas del área de estudio con alturas entre 10-140 msnm y definiendo en la parte Central Sureste del área la depresión tectónica El Sauce.

6.2.2 Mapa Altimétrico

El mapa altimétrico, también conocido como mapa hipsométrico, es una representación de las diferentes elevaciones topográficas que conforman el área, la cual se realiza a través de una variada gama de colores con tonos que van de mayor a menor intensidad, definiendo zonas topográficas con máxima y mínima elevación del relieve.

En el caso del mapa altimétrico del área de estudio, se trabajó con una gama de colores con tonos que varían de amarillo a verde para zonas bajas, celeste a morado para zonas medias y violeta a rojo para zonas altas; la diferencia y cercanía entre estos tonos, permitió determinar los principales rasgos morfoestructurales que caracterizan el área (Fig. 18).

MAPA ALTIMETRICO

Conforme al análisis de este mapa, se identificó que en la parte Este del área de estudio se concentran las mayores alturas y descienden de manera gradual hacia el Oeste, exceptuando algunas elevaciones medias de la parte Central; definiendo así las siguientes morfoestructuras:

- Estructuras circulares asociadas en este trabajo a antiguas calderas, principalmente las ubicadas en la parte Este del mapa, como: Caldera La Sabana formada por prominencias topográficas con elevaciones que varían de 300 a 600 msnm; Caldera Las Limas constituida por altos topográficos con elevaciones que van de 300 a 820 msnm; y Caldera San Ramón compuesta por salientes topográficos con elevaciones que varían de 200 a 400 msnm. Hacia la parte Central del mapa, poco definidas las Calderas La Coyotera (100-200 msnm) y Chaguite Grande (200-300 msnm).
- Estructuras lineales relativamente levantadas interpretadas como pilares tectónicos, localizados en la parte Oriental del área de estudio, como: Pilar Mina de Agua formado por la Falla Chaguite Grande con elevaciones que varían de 100 a 300 msnm; Pilar Los Lirios delimitado por las Fallas Los Loros y El Cerro con elevaciones que van de 100 a 500 msnm; y Pilar El Sauce formado por la Falla El Sauce con elevaciones que varían de 100 a 820 msnm.
- Estructura lineal con hundimiento relacionado a una depresión topográfica o fosa tectónica, situada al Este del área de estudio y nombrada en este trabajo como Fosa El Sauce, delimitada por las Fallas Chaguite Grande y El Sauce con elevaciones de 100 a 200 msnm.

6.2.3 Mapa de Pendientes

El mapa de pendientes es una representación de la diferencia entre las elevaciones de las curvas de nivel y el espacio que existe entre ellas, permitiendo identificar diferentes

patrones morfológicos de acuerdo a la semejanza y diferencia de pendientes basado en el cambio de coloración.

En el caso del mapa de pendientes de Villanueva y El Sauce, se utilizaron colores con tonos verdes para valles y mesetas con pendientes de 0-20°, amarillos para lomas con pendientes de 20-40°, anaranjados para laderas con pendientes de 40-60° y rojos para zonas escarpadas con pendientes de 60-80° (**Fig. 19**).

De acuerdo al análisis de este mapa, se definieron las siguientes zonas:

- Zonas de bajas pendientes (0-20°), observadas como zonas planas, las que se interpretaron como llanuras aluviales en la parte Occidental del área de estudio y como un valle en la parte Oriental, el cual corresponde a la depresión tectónica El Sauce.
- Zonas con pendientes medias (20-40°) a moderadas (40-60°), vistas como zonas poco escarpadas asociada a lomas y laderas que en su mayoría definen zonas de fallas relacionadas a pilares tectónicos como Falla Chaguite Grande y El Sauce; e indican estructuras volcánicas pequeñas como Caldera La Coyotera y Chaguite Grande.
- Zonas con pendientes altas (60-80°), expresadas como zonas escarpadas que determinan estructuras volcánicas grandes como Caldera La Sabana y Las Limas y pilares tectónicos como Pilar Los Lirios.

MAPA DE PENDIENTES

6.2.4 Mapa de Modelo Sombreado

El mapa de modelo sombreado es una representación tri-dimensional de las características del relieve, la cual se genera a partir de la interpolación entre los datos de alturas de las curvas de nivel, facilitando así la distinción de zonas de mayor altura y rasgos morfoestructurales.

En el caso del mapa de modelo sombreado del área de estudio, se empleó un matiz de colores con tonos que varían de café claro para zonas bajas a café oscuro para zonas altas; permitiendo visualizar zonas de fallas, estructuras volcánicas, pilares tectónicos y depresión tectónica (**Fig. 20**).

A través del análisis de este mapa, se identificaron cuatro rasgos morfoestructurales:

- Patrones de fallamiento con direcciones N-S, NE-SW, E-W y NW-SE. En donde el patrón de fallamiento N-S originó la formación de pilares tectónicos y depresión tectónica y el emplazamiento de estructuras volcánicas y cuerpo plutónico de El Sauce, que fueron afectados y desplazados por los patrones de fallamiento NE-SW, E-W y NW-SE.
- Estructuras circulares y semicirculares relacionadas a antiguas calderas colapsadas, afectadas por los patrones de fallamiento NE-SW, E-W y NW-SE, por lo que se propone que fueron emplazadas a través del patrón de fallamiento N-S, previo a las fases de los patrones de fallamiento ya mencionados.
- Estructuras lineales relativamente levantadas asociadas a pilares tectónicos como: Pilar Mina de Agua, formado en la parte Este por la Falla Chaguite Grande de dirección N-S y buzamiento E-W, con geometría en echelón izquierdo y movimiento normal; Pilar Los Lirios, delimitado por las Fallas Los Loros orientada N-S y con buzamiento al NW y El Cerro con dirección N-S y buzamiento al NE,

MAPA DE MODELO SOMBREADO

ambas con geometría en echelón izquierdo y movimiento inverso; y Pilar El Sauce, constituido en la parte Oeste por la Falla El Sauce de orientación N-S y buzamiento al SW, con geometría en echelón derecho y movimiento normal, lo que provoca un ensanchamiento en la parte inferior de la depresión tectónica El Sauce.

- Estructura lineal con hundimiento interpretada como Depresión Tectónica El Sauce, delimitada por las Fallas Chaguite Grande y El Sauce, ambas de dirección N-S con buzamientos y geometría opuesta y movimiento vertical tipo normal; limitada a ambos lados por los Pilares Mina de Agua y El Sauce y con el Pilar Los Lirios en la parte Central Norte formando dos semidepresiones a ambos lados de éste.

6.3 Fases de Fallamiento

En el área de Villanueva y El Sauce se definieron cuatro patrones de fallamiento con direcciones N-S, NE-SW, E-W, NW-SE; los cuales fueron clasificados en cuatro fases de fallamiento con actividad tectónica, en base al desplazamiento relativo entre ellas (**Fig. 21**).

6.3.1 Fase de Fallamiento N-S

Primera fase de fallamiento que originó dos fallas normales y dos inversas con dirección preferencial N8°W aproximado N-S y que actuaron en rocas de composición andesítica y granodiorítica formando la depresión tectónica El Sauce, con sus respectivos pilares tectónicos Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce, todos ellos localizados en el área de El Sauce, específicamente al Oeste de este municipio (Hoja Topográfica El Sauce).

MAPA ESTRUCTURAL

Esta fase propició el emplazamiento de grandes estructuras volcánicas en dirección N-S, denominadas en este trabajo como Calderas La Sabana, Las Limas y San Ramón, ubicadas el Este del área de estudio, en las cuales no se observó zonas mineralizadas.

Así mismo, permitió el emplazamiento de un cuerpo plutónico, a través de zonas de fallamiento intenso con dirección N-S, que posteriormente fue basculado hacia el NW, denominado como Intrusivo El Sauce, localizado en la parte Noroeste y Central Norte de la Depresión Tectónica El Sauce. Gran parte de este intrusivo constituye el Pilar Los Lirios delimitado por las fallas Los Loros y El Cerro de dirección N-S.

Esta fase de fallamiento, está representada por cuatro fallas principales de carácter regional, que se extienden desde el noroeste de Rio Grande hasta el sur de El Sauce, las cuales son:

6.3.1.1 Falla Chagüite Grande

Se trata de una estructura lineal localizada al Oeste del municipio de El Sauce, cerca de las fincas Chagüite Grande, de donde deriva su nombre.

Posee una orientación N-S y buzamiento en dirección E-W, con una longitud de 11.75 Km, extendiéndose desde el Cerro La Zacatosa (N1432800, E537600) hasta el Cerro El Espinalito (N1418750, E539725).

Morfológicamente presenta un escarpe en dirección N-S, con facetas triangulares E-W, generando un desnivel de 100 m aproximadamente, definiendo el límite Este del Pilar Mina de Agua y Oeste de la Depresión Tectónica El Sauce (Foto 36).

Litológicamente afecta a la unidad de coladas andesíticas (An) y se encuentra cortada por las fallas Los Lirios de dirección E-W y San Ramón, Villanueva, Gaspar García Laviana y El Hoyo de direcciones NW-SE.

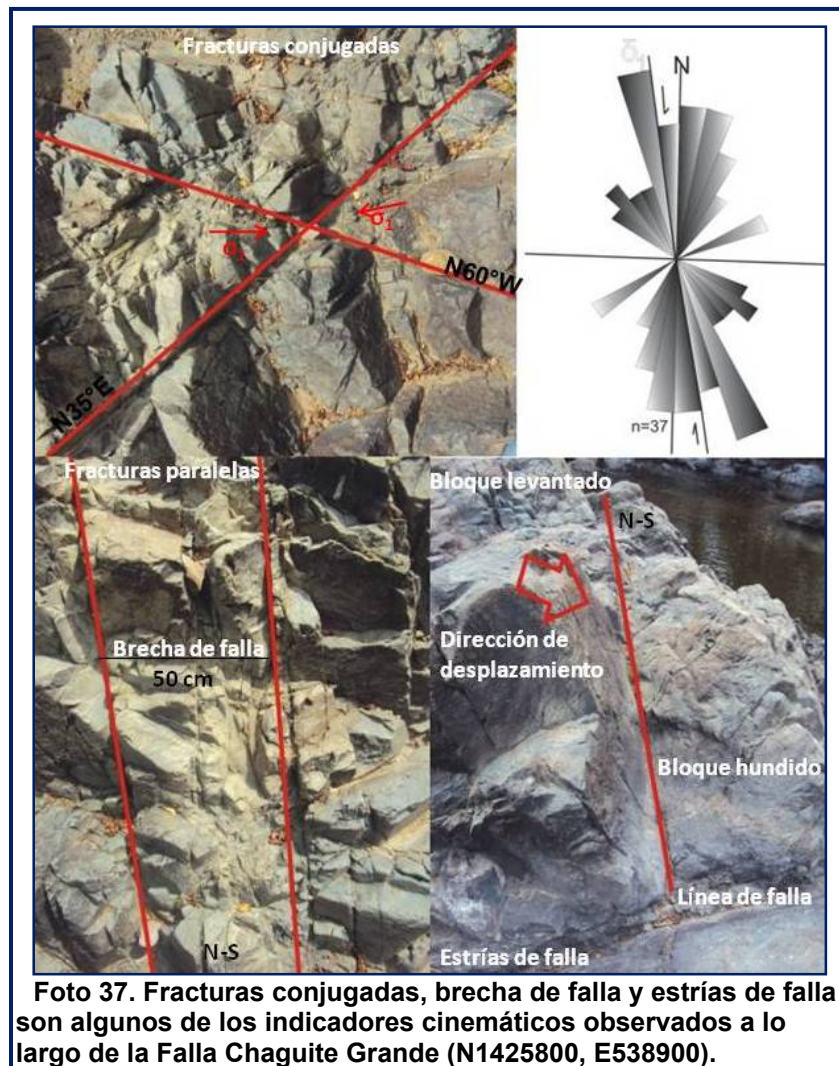


Foto 36. Escarpe de la Falla Chaguite Grande con orientación N-S y buzamiento E-W, mostrando la geometría en echelón izquierdo y afectando rocas andesíticas terciarias. Comarca El Pílon, El Sauce (N1419750, E539725).

Esta falla está constituida por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 1 a 2.75 Km, con orientaciones N-S a N22°W y zonas de relevo de hasta 1 km (Foto 36).

Para definir la cinemática de esta falla, se estudiaron varios afloramientos, en los que se determinaron diferentes indicadores cinemáticos como brechas de falla, fracturas conjugadas, estructuras sigmoidales y estrías de falla con movimiento normal, los que se observaron en cortes de camino y quebradas.

La roseta de fracturas indica una mayoría en las fracturas con dirección N-S, cuya dirección de esfuerzo máximo o de compresión se encuentra en sentido de la falla principal.



En los alrededores de la Finca La Palmita (N1425800, E538900), la falla Chaguite Grande muestra una zona de brecha de 50 cm de ancho, así como también fracturas conjugadas y estrías de fallas que obedecen a estructuras lineales con movimiento normal (Foto 37).

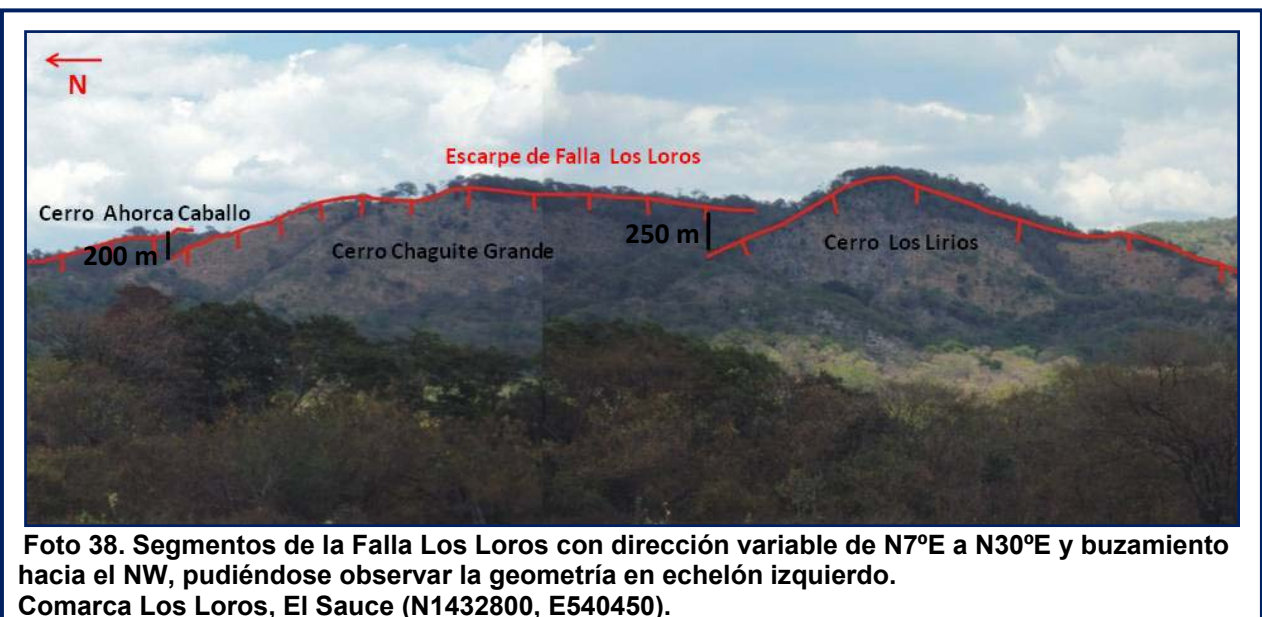
En base al comportamiento de los indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de esta estructura lineal, se determinó que el sentido de movimiento de la Falla Chaguite Grande, es normal, lo que también se comprobó a través de la interpretación de fotografías aéreas, del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A` (Fig. 21).

6.3.1.2 Falla Los Loros

Consiste en una estructura lineal ubicada al Este del área de estudio en la Comarca Los Loros, donde toma su nombre.

Tiene una orientación N7°E-N30°E y buzamiento al NW, con una longitud de 6.25 Km, extendiéndose desde el Cerro Ahorca Caballo (N1435250, E543000) hasta el Cerro La Coyotera (N1430420, E543670).

Morfológicamente presenta un escarpe en dirección NE, generando un desnivel de 100 m aproximadamente, definiendo el límite oeste del Pilar Los Lirios (Foto 38).



Litológicamente esta deformando a la unidad de intrusivo granodiorítico (Gd) y está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.75 a 2.5 Km, con orientaciones N7°E-N30°E y zonas de relevo de hasta 800 m (Foto 38).

El último segmento de esta falla, fue afectado por la Falla Los Lirios de orientación E-W, desplazándolo hacia la derecha. El resto de los segmentos de esta falla fueron afectados por las fallas La Vainilla y El Matapalo de dirección NW-SE.

Aunque no fue identificada en el campo, con ayuda de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig.21**), se define la existencia de esta falla y se determina que tiene un sentido de movimiento es inverso.

6.3.1.3 Falla El Cerro

Es una estructura lineal situada al Este del área de estudio cerca del caserío El Cerro. Esta falla tiene una longitud de 5.75 Km, extendiéndose desde la Finca San Carlos (N1435800, E545225) hasta la Finca San José (N1429175, E545000) y está orientada N-S-N3°W buzando al NE, con un salto aproximado de 60 m, definiendo el límite Este del Pilar Los Lirios.

La falla El Cerro corta rocas de composición granodiorítica y está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.75 a 1.75 Km, formando zonas de relevo de hasta 500 m.

El último segmento fue afectado por la Falla Los Lirios de orientación E-W, desplazándolo hacia la derecha. Los otros segmentos de esta falla fueron afectados por las fallas La Vainilla y El Matapalo de dirección NW-SE.

Aunque no fue identificada en el campo, con ayuda de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig.21**), se define la existencia de esta falla y se determina que tiene un sentido de movimiento es inverso.

6.3.1.4 Falla El Sauce

Se define como una estructura lineal localizada al Este del área de estudio y del pueblo El Sauce, de donde deriva su nombre.

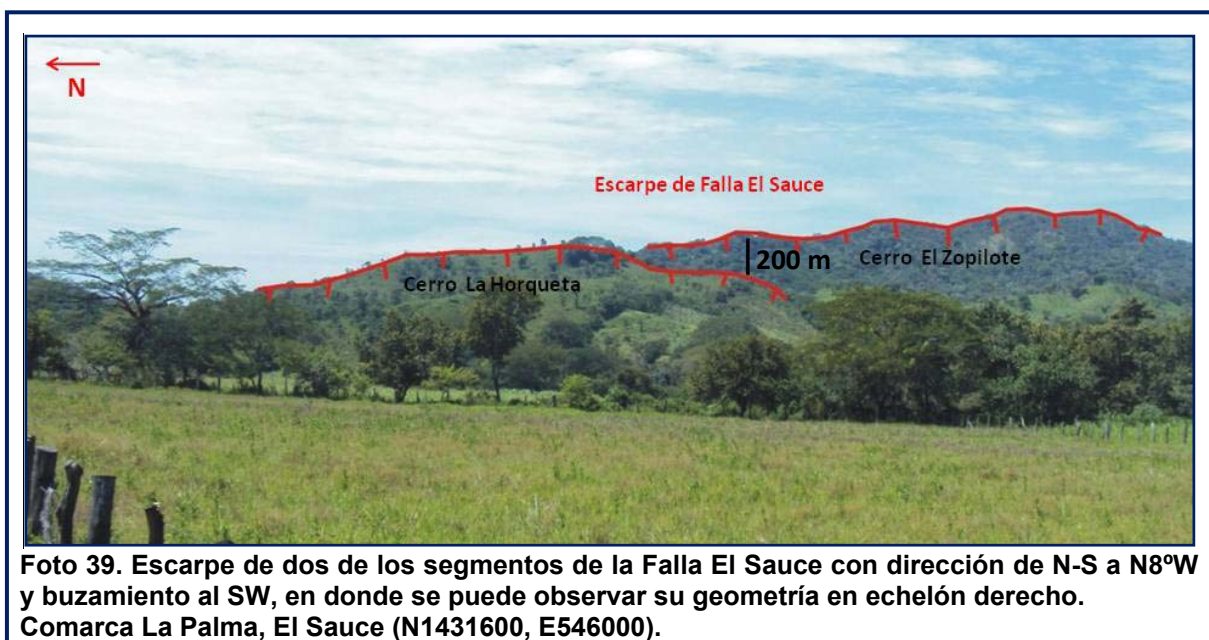
En el área de El Sauce, posee una longitud aproximada de 8 Km, extendiéndose desde el Cerro La Horqueta (N1432950, E547000) hasta la Quebrada San Ramón (N1420225,

E553150), con una orientación aproximada N-S y buzando al SW, paralela a la Falla Chaguite Grande. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Achuapa, correspondiendo con la Falla El Guanacaste (López, 2011).

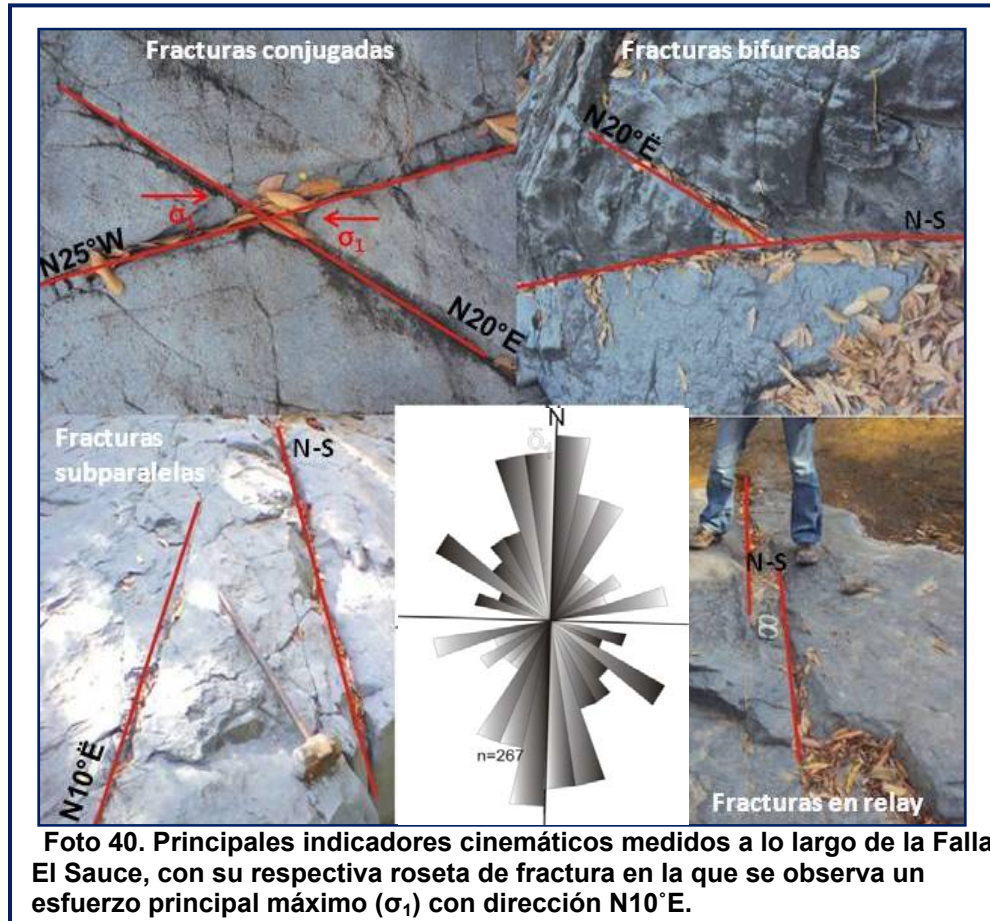
Morfológicamente presenta un escarpe en dirección N-S, mostrando escalonamientos con saltos de 160 m aproximadamente, definiendo el límite Oeste del Pilar El Sauce y Este de la Depresión Tectónica El Sauce (Foto 39).

Litológicamente se encuentra deformando a la unidad de coladas andesíticas (An) y se encuentra cortada por las fallas Los Lirios de dirección E-W y San Cayetano, La Jícara y El Tejar de dirección NW-SE.

La falla El Sauce está constituida por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón derecho, separadas en segmentos que varían de 1 a 2.5 Km, con orientaciones N-S-N10°W y zonas de relevo de 200 m a 1000 m (Foto 39).



Los indicadores cinemáticos encontrados, corresponden a fracturas conjugadas, fracturas bifurcadas, fracturas subparalelas y fracturas en relay, los que permitieron determinar la cinemática de esta falla, indicando un sentido de movimiento normal (Foto 40).



La roseta de fracturas indica una dirección de esfuerzo máximo N-S, correspondiendo con la orientación de la falla principal.

6.3.2 Fase de Fallamiento NE-SW

Segunda fase de fallamiento ocurrida después del emplazamiento de las estructuras volcánicas y del cuerpo plutónico de El Sauce, en dirección N-S. Durante esta fase se originaron fallas con dirección preferencial N30°E, afectando rocas de composición andesítica, dacítica y granodiorítica.

Asociada a esta fase de fallamiento, se encuentran vetas epitermales de cuarzo aurífero y diques hipabisales emplazados en rocas andesíticas sobre la Falla Los Rincones, al SE de Villanueva, en Rincón García (N1429379, E523931), en la parte Norte del Cerro El Cacao (N1431400, E528005); y sobre la Falla La Lanza, al SE de Villanueva, en la base del Cerro El Hoyo (N1426998, E526700).

Esta fase está constituida por seis fallas principales de carácter regional concentradas en la parte Central del área de estudio, las cuales son:

6.3.2.1 Falla La Esperanza

Se trata de una estructura lineal localizada al Noroeste del área de estudio, a lo largo del río Villanueva al Sureste de las fincas La Esperanza.

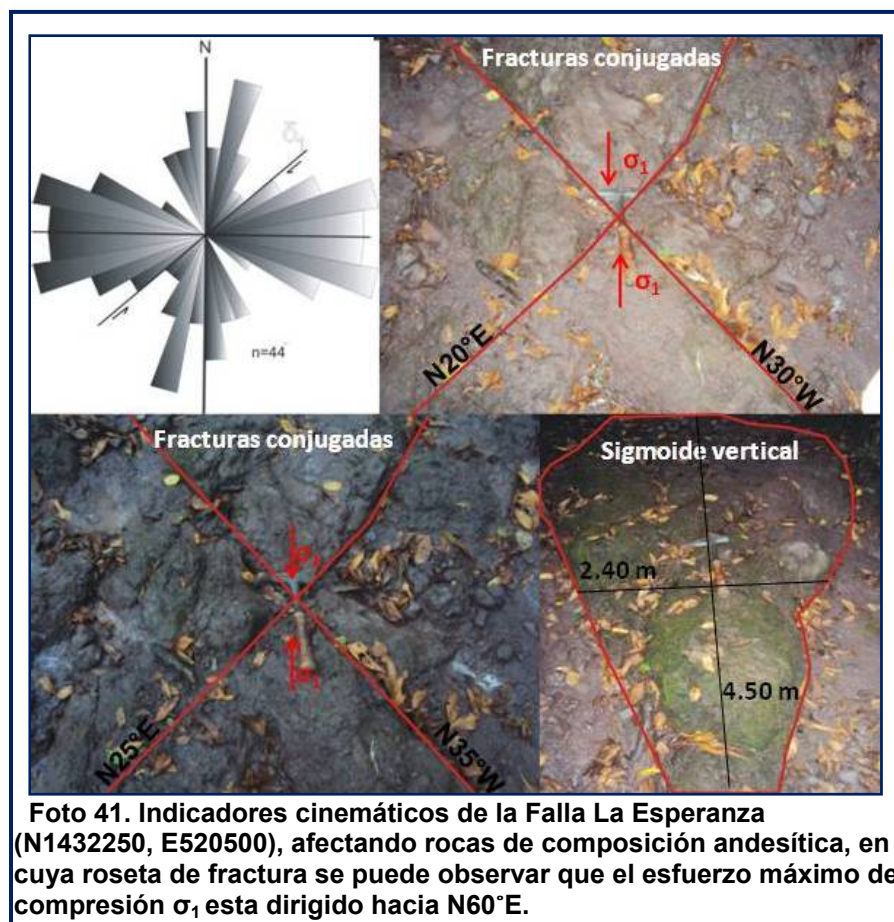
La falla La Esperanza tiene una orientación preferencial N75°E, cuya longitud en el área de Villanueva es de 9 Km, extendiéndose desde la Quebrada Aguas Calientes (N1437000, E528250) hasta el Sureste del Caserío Gaspar García Laviana (N1432170, E518760), constituyendo la extensión sur de la Falla Los Playones (López, 2011).

Morfológicamente se manifiesta a través de cerros alineados y en la deflexión del curso del Río Villanueva, afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) en el segmento superior, coladas dacíticas (Da) en el segmento medio y sedimentos aluviales (al) en el segmento inferior.

Esta estructura lineal está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 1.25 a 2.5 Km, con orientaciones N50°E-N75°E y zonas de relevo de 200 m a 800 m, los cuales son desplazados por las fallas Los Encuentros, El Genízaro, San Ramón y Villanueva de dirección NW-SE.

El análisis de la roseta de fracturas, muestra que la dirección del esfuerzo máximo es hacia el N50°E, y la dirección del esfuerzo mínimo es hacia el N40°W, indicando un arreglo conjugado local.

Los indicadores cinemáticos encontrados a lo largo de la Falla La Esperanza, son principalmente sigmoides verticales, fracturas conjugadas, fracturas paralelas (Foto 41), los que se midieron en las cercanías a la Montaña Terreros Amarillos (N1435750, E525800) y a las fincas San Pedro (N1432250, E520500).



La cinemática de esta falla, se caracteriza por mostrar fracturas conjugadas y sigmoides verticales de hasta 4.50 m de alto, con 2.40 m de ancho (Foto 41), los cuales se asocian a fallamiento con movimiento normal; esto se complementa con la interpretación de fotografías aéreas y el análisis de mapas preliminares, determinando así que la Falla La Esperanza es normal.

6.3.2.2 Falla El Cangrejo

Consiste en una estructura lineal situada en la parte Central Norte del área de estudio, al Sur del caserío El Cangrejo (donde toma su nombre).

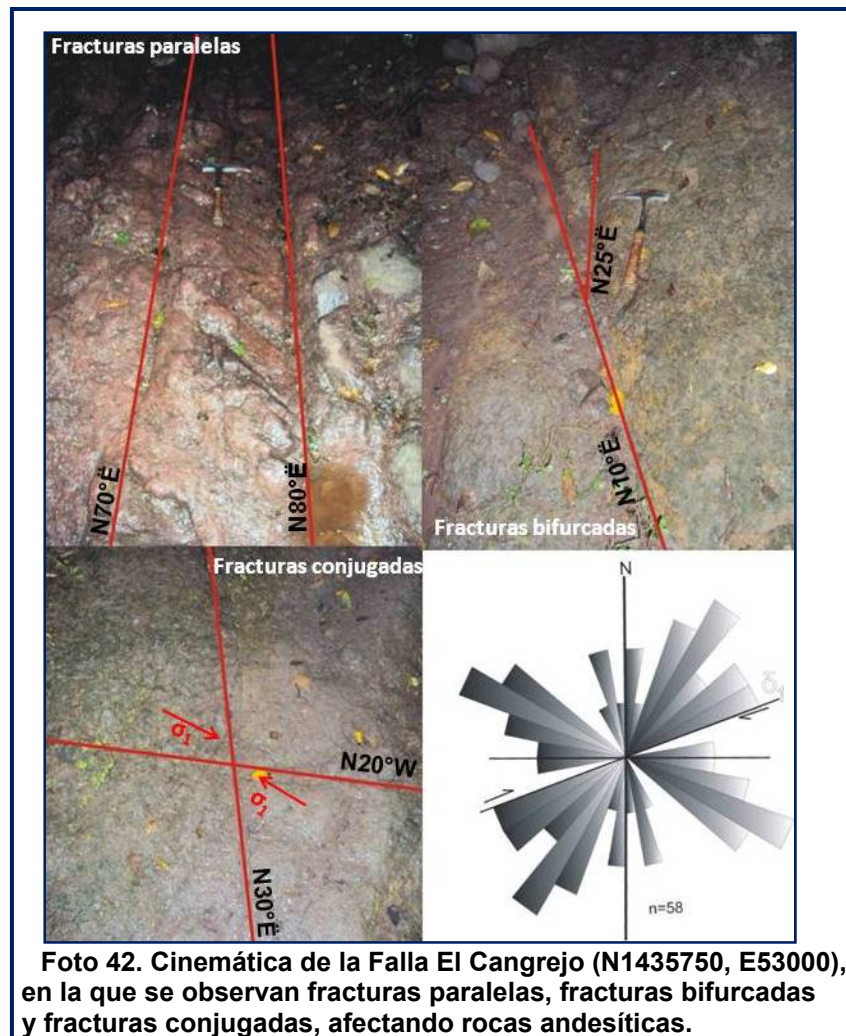
En el área de El Sauce tiene una longitud de 4 Km, extendiéndose desde el Cerro El Jocote (N1437005, E535960) hasta Oeste del Cerro Juan Sapo (N1435550, E529920), con orientada preferencial N70°E. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Achuapa, correspondiendo con la Falla El Porvenir (López, 2011).

Morfológicamente presenta un escarpe en dirección NE, cortando la parte Norte del Cerro Juan Sapo, Cerro Rodeo Grande y Cerro El Jocote, afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) en el segmento inferior y la unidad de intrusivo granodiorítico (Gd) en el segmento superior.

La falla El Cangrejo está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.5 a 2.25 Km, con orientaciones de N70°E a N72°E y zonas de relevo de hasta 1000 m, los que son cortados por las fallas La Vainilla, El Matapalo y Aserradero de dirección NW-SE.

En los afloramientos estudiados, se midieron indicadores cinemáticos como fracturas paralelas, fracturas bifurcadas y fracturas conjugadas (Foto 42), a partir de las cuales se determinó que el sentido de movimiento de la Falla El Cangrejo es normal, confirmando lo mostrado por las fotografías aéreas y los mapas preliminares.

La roseta de fracturas demuestra que entre la dirección del esfuerzo máximo N70°E y la dirección del esfuerzo mínimo N50°W, se forman arreglos conjugados asociados a fallamiento normal.



6.3.2.3 Falla Los Rincones

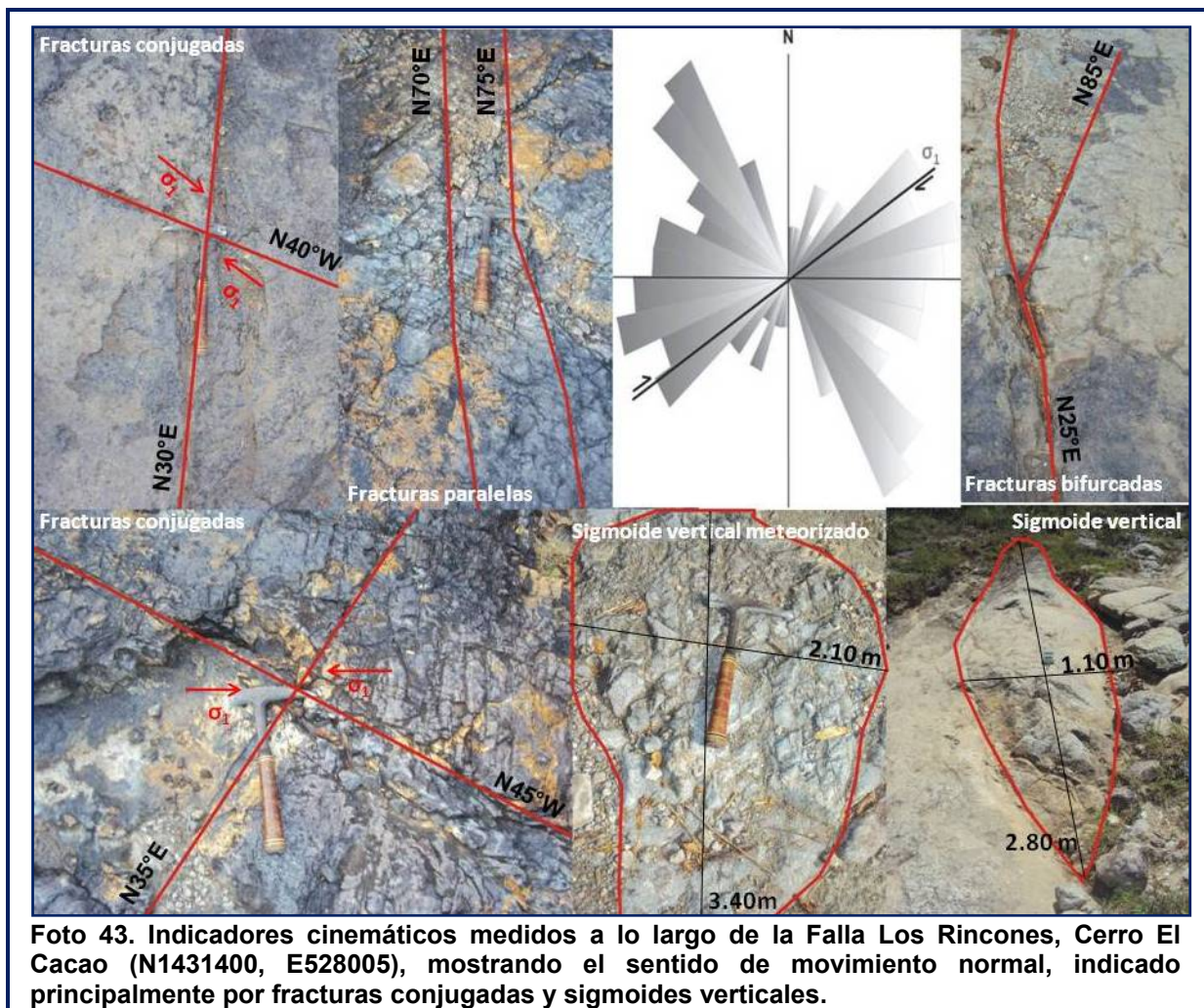
Es una estructura lineal ubicada en la parte Central Norte del área de estudio, cerca del caserío Los Rincones.

Esta falla tiene una orientación preferencial N55°E, cuya longitud es de 9.75 Km, extendiéndose desde Cerro El Porvenir (N1437005, E538650) hasta la Quebrada El Pílon (N1431150, E526750).

Morfológicamente se expresa por un escarpe en dirección NE en compañía con la deflexión del curso de las Quebradas Soledad y La Bijagua, afectando litológicamente a la

unidad de coladas andesíticas (An) en el segmento inferior y la unidad de intrusivo granodiorítico (Gd) en el segmento superior.

La falla Los Rincones está constituida por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 1 a 1.5 Km, con orientaciones de N55°E-N65°E y zonas de relevo de hasta 1 km, siendo desplazados por las fallas La Vainilla, El Matapalo, Los Encuentros, Aserradero, El Genízaro, Los Tololos y San Ramón de dirección NW-SE.



La cinemática de esta falla, muestra una zona amplia de fallamiento tectónico, demostrada por los siguientes indicadores cinemáticos: fracturamiento conjugado, fracturamiento paralelo, fracturamiento bifurcado y estructuras sigmoidales verticales

(Foto 43), en base a las cuales se determinó que la Falla Los Rincones tiene un sentido de movimiento normal, coincidiendo con lo observado en las fotografías aéreas y mapas preliminares.

El análisis de las rosetas de fracturas, demuestra que tanto el esfuerzo máximo como el esfuerzo mínimo, son contemporáneos, dando lugar a la formación de fallas con arreglo conjugado.

6.3.2.4 Falla La Lanza

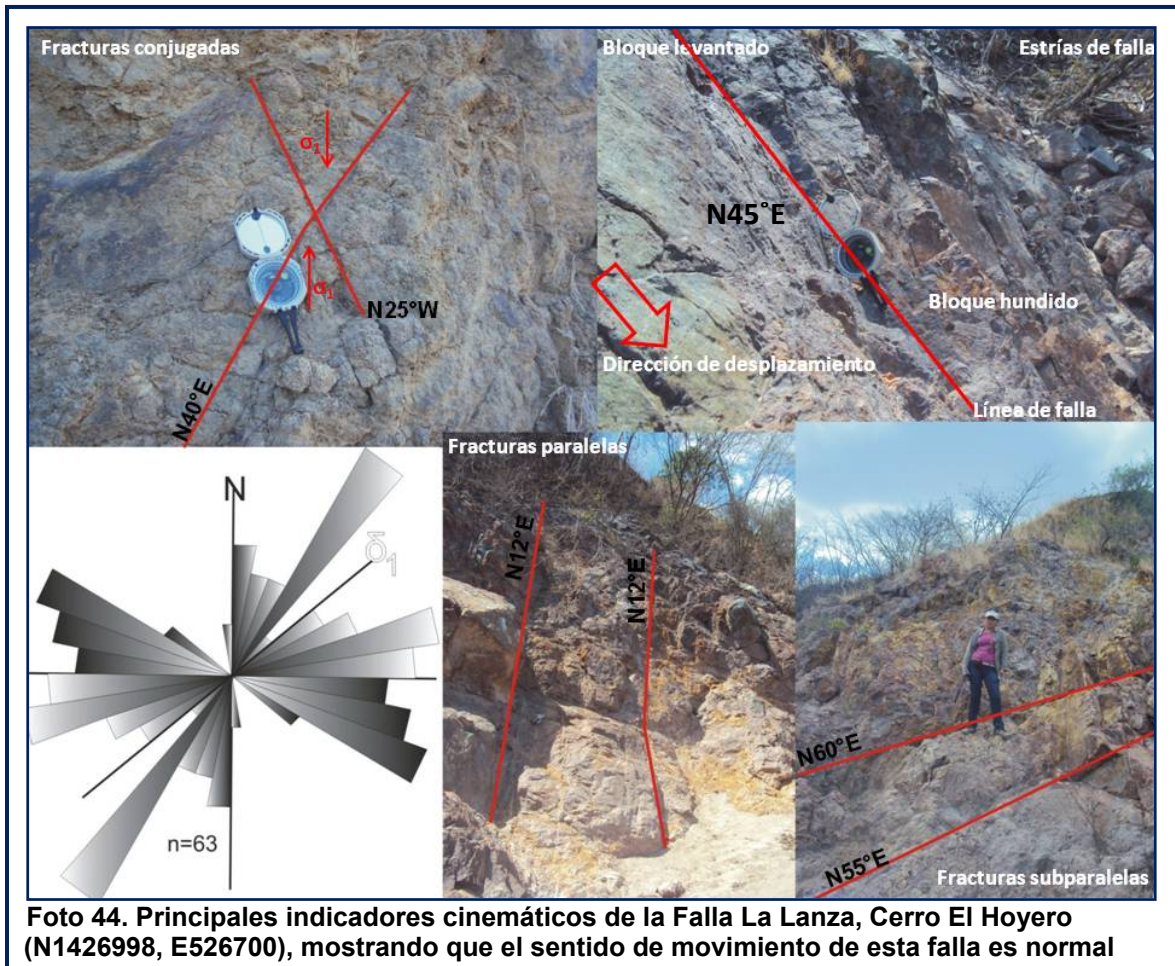
Se define como una estructura lineal localizada en la parte Central y Norte del área de estudio, cerca del caserío La Lanza.

La falla La Lanza tiene una longitud de 16 Km, extendiéndose desde el Rio Grande (N1437005, E542600) hasta el Cerro El Apartadero (N1426750, E523500) con orientación preferencial N50°E.

Morfológicamente expone un escarpe bien marcado en dirección NE, delimitando la fase de fallamiento NE en la parte Central del área de estudio, afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) en el segmento inferior y la unidad de intrusivo granodiorítico (Gd) en el segmento superior.

Esta estructura lineal está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.25 a 2.5 Km, con orientaciones que varían de N40°E a N68°E y zonas de relevo de 100 m a 1200 m, los que son cortados por las fallas La Vainilla, El Matapalo, Los Encuentros, El Genízaro, Los Lirios, Aserradero, San Ramón, Los Tololos, Villanueva, Gaspar García Laviana y El Hoyo de dirección NW-SE.

Los indicadores cinemáticos medidos en los diferentes afloramientos fueron: fracturas conjugadas, fracturas paralelas y subparalelas y estrías de falla (Foto 44), a partir de las cuales se determinó, que el sentido de movimiento de la Falla La Lanza es normal, corroborando lo mostrado por las fotografías aéreas y los mapas preliminares.



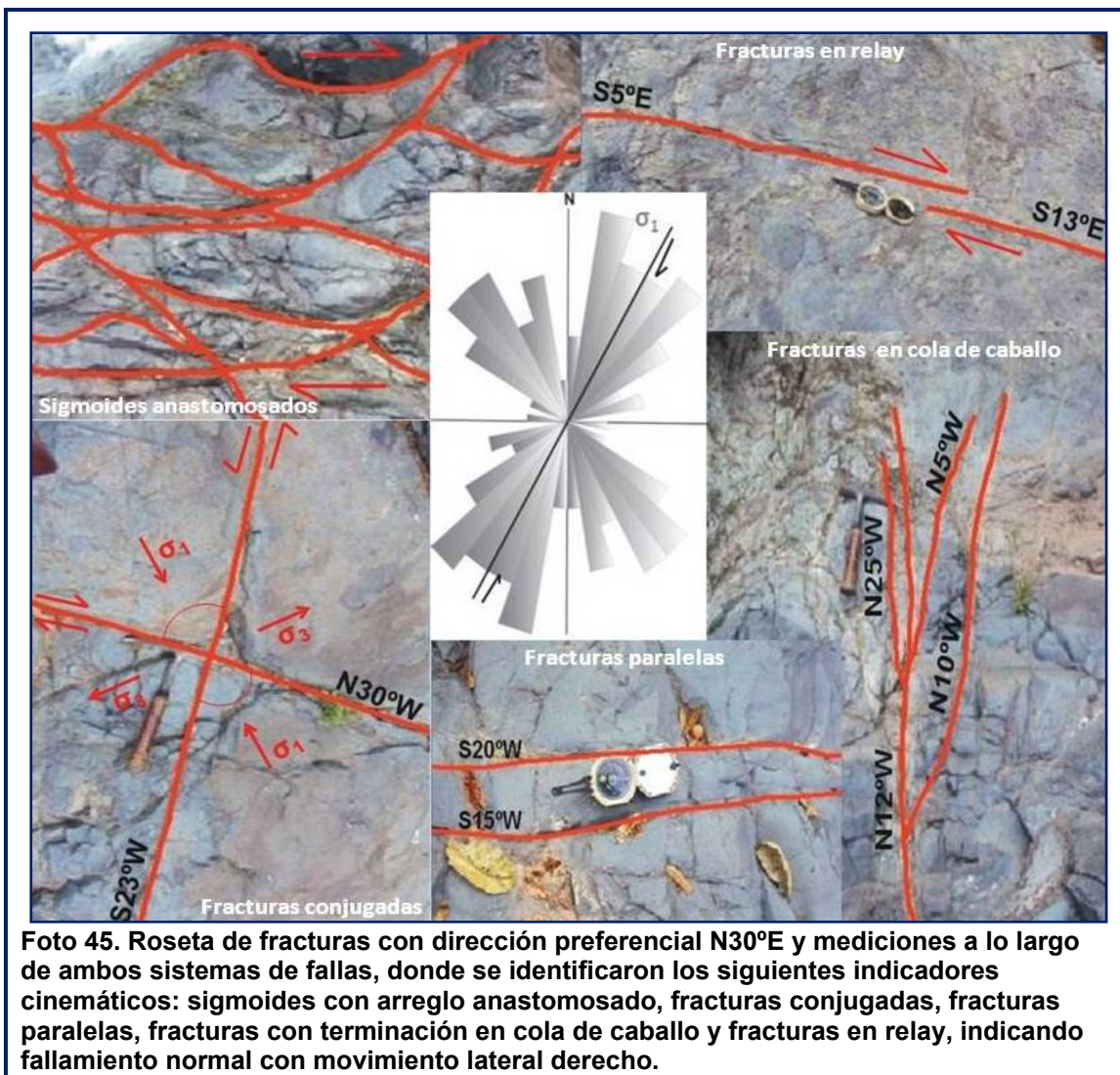
La roseta de fracturas muestra un esfuerzo máximo en dirección N50°E y un esfuerzo mínimo en dirección N60°W, lo que indica la formación de arreglos conjugados asociados a fallamiento normal.

6.3.2.5 Sistema de Fallas Quebrada Grande-La Pita

Consiste en dos sistemas de estructuras lineales paralelas **Falla Quebrada Grande** y **Falla La Pita**, localizadas al Este del área de estudio, en la Comarca Montañita, cerca de la Quebrada Grande y del caserío La Pita.

Ambas fallas tienen una longitud de 3 km a 4.25 Km, extendiéndose el Norte del caserío El Jobo (N1430850, E554225; N1427250, E550850) hasta la quebrada La Pita (N1429200, E554225; N1426750, E552220) con orientación preferencial N40°E.

Morfológicamente muestran un escarpe bien definido en dirección NE, desplazando con movimiento lateral derecho el flanco norte de la Caldera Las Limas y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) en el segmento inferior y la unidad de coladas dacíticas (Da) en el segmento superior.



Estos sistemas de fallas están compuestos por dos fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.75 a 2.25 km, con

orientaciones variables entre N35°E y N40°E y zonas de relevo de 250 m a 500 m, los que son desplazados por la falla Las Zetas de dirección NW-SE.

Para determinar el sentido de movimiento de este sistema de fallas, se realizaron mediciones en la Quebrada Grande (N1427421, E551151) y quebrada La Pita (N1426600, E552200), en donde se identificaron fracturas paralelas, fracturas con terminación en cola de caballo y estructuras sigmoidales horizontales con arreglo anastomosado de tamaños que varían de 20-50 cm y en su mayoría con orientación N40°E (Foto 45).

La presencia de fracturas conjugada y de fracturas relay demuestran que ambas fallas son transtensionales, es decir fallas normales con componente lateral derecho (Foto 45), confirmando así lo observado en fotografías aéreas y mapas digitales. Con estas mediciones se realizó una roseta de fracturas en la que se demuestra que entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo, se forman arreglos conjugados, típicos de fallas normales.

6.3.3 Fase de Fallamiento E-W

Tercera fase de fallamiento que provocó el desplazamiento con movimiento lateral izquierdo de la Depresión Tectónica El Sauce y los Pilares Tectónicos Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce. Durante esta fase se originaron fallas con dirección preferencial E-W, afectando rocas de composición andesítica, dacítica, granodiorítica y tobas dacíticas.

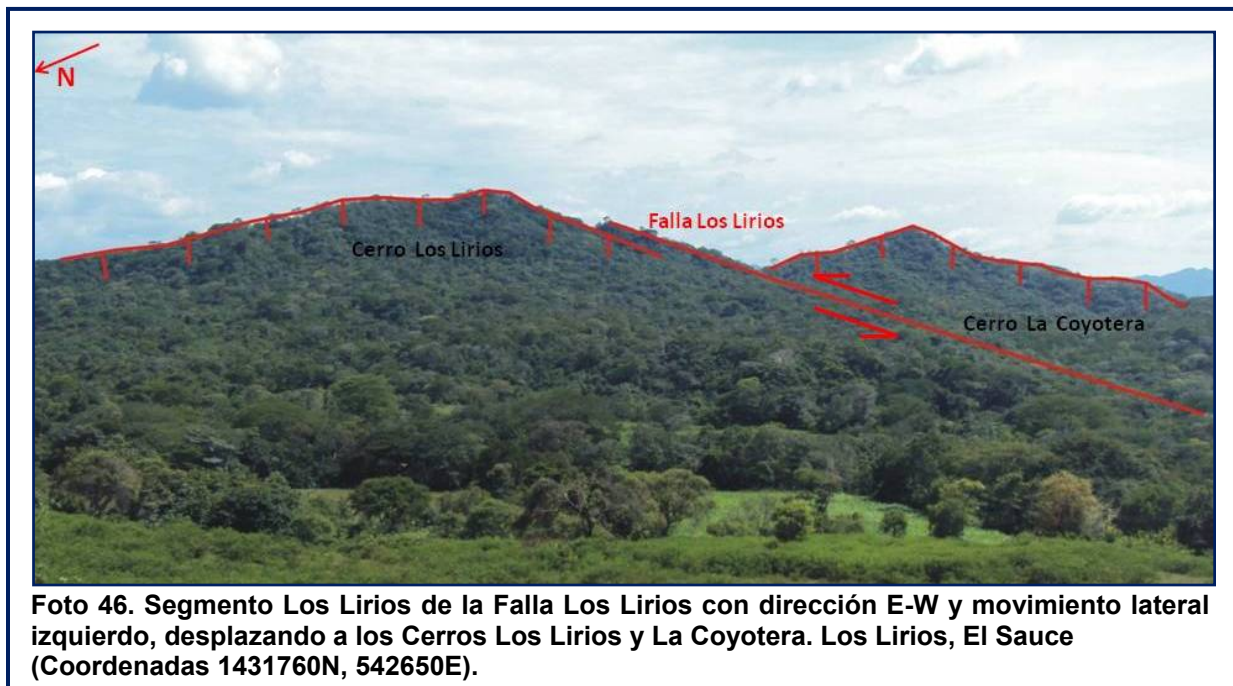
Respecto a la mineralización, se observaron pocas vetas de cuarzo relacionadas a esta fase de fallamiento, principalmente en Rincón García (N1429379, E523931) y al NE del Cerro El Cacao (N1431800, E527600).

Esta fase está representada por una falla de carácter regional que se extiende desde el noreste del caserío Corre Viento hasta el suroeste del caserío La Lanza.

6.3.3.1 Falla Los Lirios

Es una estructura lineal localizada en la parte Central Este del área de estudio, al Sur de Los Lirios. Esta falla tiene una longitud de 15.5 Km, extendiéndose desde la Quebrada Los Pabellones (N1431750, E553550) hasta el Cerro Colorado (N1431550, E532400) con orientación preferencial E-W.

Morfológicamente se expresa a través de un escarpe bien definido, con pendientes de hasta 40° y alturas de 100m a 500m, desplazando con movimiento lateral izquierdo los Pilares Tectónicos El Sauce, Los Lirios y Mina de Agua y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An), unidad de coladas dacíticas (Da), unidad de tobas dacíticas de flujo (Td) y unidad de intrusivo granodiorítico (Gd).



La falla Los Lirios está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría simple, separadas en segmentos que varían de 1.5 a 5.5 Km, con orientaciones variables de N87°E a E-W y zonas de relevo de 200 m a 800 m, los que son desplazados por las

fallas La Troja y El Genízaro de dirección NW-SE y desplaza a la falla La Lanza de dirección NE-SW.

No se encontraron indicadores cinemáticos que pudieran complementar la información estructural de esta falla, sin embargo, a través de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig.21**), se pudo definir que la Falla Los Lirios es horizontal con movimiento lateral izquierdo (Foto 46).

6.3.4 Fase de Fallamiento NW-SE

Cuarta y última fase de fallamiento que ocasionó el desplazamiento de todos los sistemas de fallas antes mencionados, por lo que se puede inferir que corresponden a estructuras jóvenes de carácter postmineralización.

Durante esta fase se formaron fallas con dirección preferencial N70°W, paralelas a la Fosa Mesoamericana y a la Depresión de Nicaragua. Estas afectan rocas de composición andesítica, dacítica, granodiorítica, tobas dacíticas y sedimentos aluviales.

La mayoría de las fallas de esta fase son transtensionales, es decir, son normales con componente lateral derecho, las que definen bloques fallados semiescalonados, evidenciados por los numerosos escarpes sobresalientes en el área de estudio.

Asociada a esta fase de fallamiento, se encuentran manifestaciones de fuentes termales (55°-59°C), ubicadas al NE de Villanueva, en la Quebrada Aguas Calientes (N1437000, E528800) y en Rio Grande (N1436900, E529700) en una zona de contacto entre rocas andesíticas y rocas granodioríticas, específicamente sobre la Falla El Matapalo. De igual forma se encontraron vetas epitermales de cuarzo aurífero emplazadas en rocas andesíticas sobre la Falla Villanueva, al W de El Sauce, en La Palmita (N1425900, E538500), en donde se observaron socavones, lo que indica que estas vetas fueron

antiguamente explotadas para oro; y sobre la Falla Gaspar García Laviana, en el Cerro La Ceibita (N1428500, E526000).

Esta fase está representada por catorce fallas de carácter regional que se extienden desde la Estructura Semicircular El Pajuil al Noroeste de la hoja topográfica de Villanueva hasta la Caldera San Ramón al Sureste de la hoja topográfica de El Sauce. En base al grado de ángulo de dirección que presentan estas fallas, fueron clasificadas en:

6.3.4.1 Fallas NW de alto ángulo

Estas fallas tienen una dirección que varía entre N45°W y N90°W y las más importantes son:

6.3.4.1.1 Falla El Hoyo

Se define como una estructura lineal situada en la parte Central Sur del área de estudio, al Sur de la finca El Hoyo, con una orientación N68°W y una longitud de 26.25 Km, extendiéndose desde el Cerro La Porfía (N1434200, E510900) hasta el Cerro El Pílon (N1421400, E539300).

Morfológicamente se expresa a través de lineamientos de cerros, afectando rocas de composición dacítica, andesítica y sedimentos aluviales, desplazando a las fallas La Lanza de dirección NE-SW y Chaguite Grande de dirección N-S y siendo desplazada por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de ángulo bajo.

La falla El Hoyo está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 3.5 km a 9.25 km, con zonas de relevo de 1000 m a 1200 m.

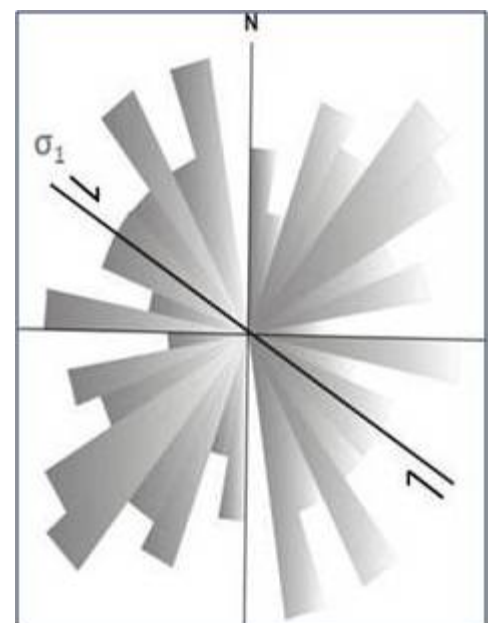


Figura 22. Roseta de fracturas de la Falla El Hoyo

Aunque no fue identificada en el campo, con ayuda de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig.21**), se determinó que el sentido de movimiento de esta falla es normal con componente lateral derecho (falla transtensional).

La roseta de fracturas, elaborada a partir de datos de campo medidos en El Garcero, El Sauce (N1424850, E532006), indica una dirección preferencial hacia N60°W, lo que demuestra que el esfuerzo máximo es de alto ángulo (**Fig. 22**).

6.3.4.1.2 Falla Gaspar García Laviana

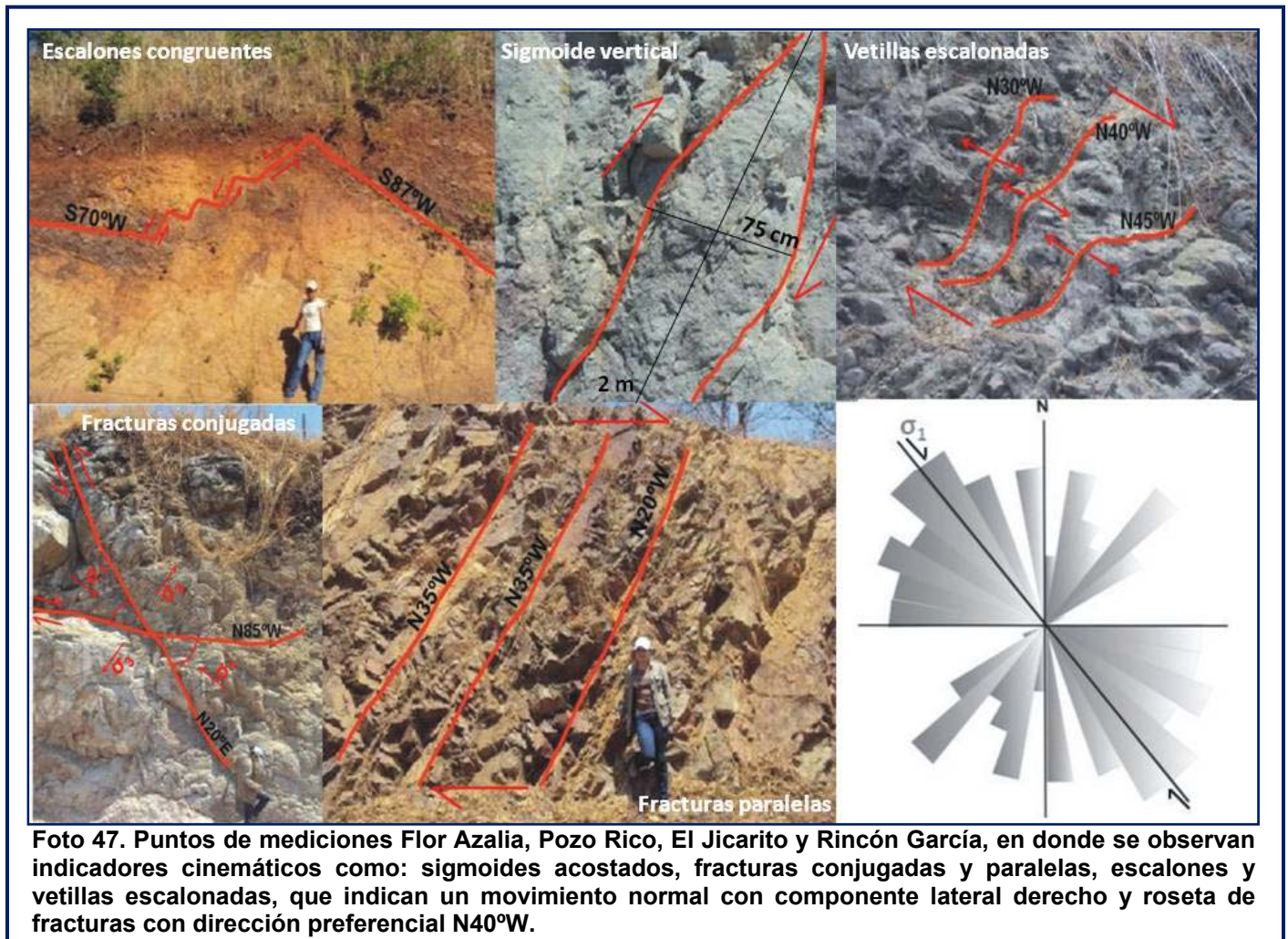
Se trata de una estructura lineal ubicada en la parte Central del área de estudio, cerca del poblado Gaspar García Laviana. Esta falla tiene una longitud de 25 Km, extendiéndose desde el Cerro El Sombrero (Coordenadas 1435870N, 511250E) hasta el Cerro Rincón Escondido (Coordenadas 1423200N, 539650E) con orientación preferencial de N70°W.

Morfológicamente se define por medio de cerros alineados y truncados en la dirección de la traza de falla, desplazando a las fallas La Lanza de dirección NE-SW y Chaguite Grande de dirección N-S y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An), unidad de coladas dacíticas (Da) y unidad de sedimentos aluviales (al).

La falla Gaspar García Laviana está constituida por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 4.25 a 9.25 km, con orientaciones que varían de N67°W-N70°W y zonas de relevo de hasta 1500 m, los que están siendo cortados por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de bajo ángulo.

Para establecer el sentido de movimiento de esta falla, se efectuaron mediciones en los lugares Flor Azalia (N1434683, E514173), Pozo Rico (N1433960, E515169), El Jicarito

(N1433500, E515922) y Rincón García (N1429379, E523931), encontrando estructuras sigmoidales acostados de tamaños que varían de 1-3 m y orientación S78°W (Foto 47).



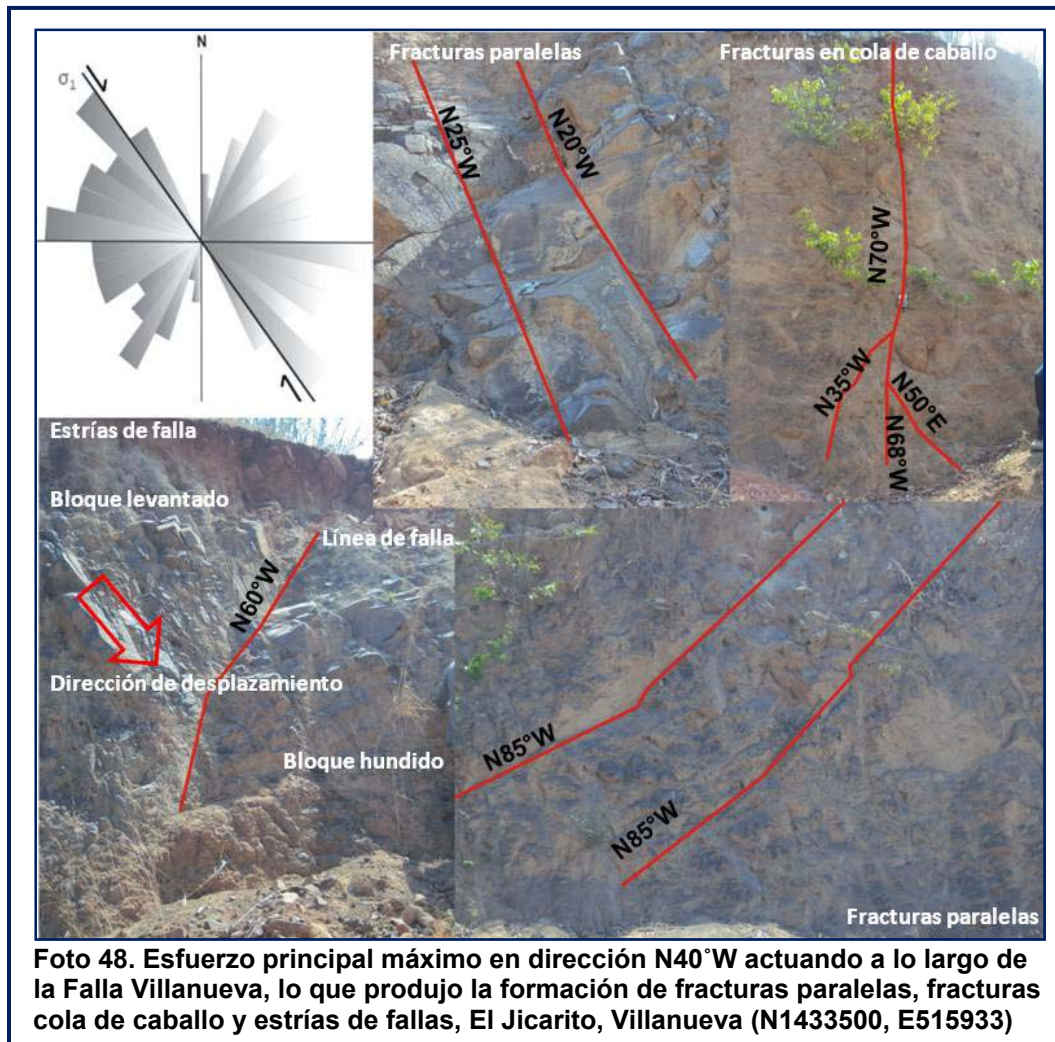
La presencia de escalones congruentes, vetillas escalonadas, fracturas conjugadas y paralelas, demostraron que esta falla es transtensional tipo normal con componente lateral derecho (Foto 47), coincidiendo con lo observado en fotografías aéreas y mapas digitales.

La roseta de fracturas muestra una dirección preferencial N40°W, indicando que la zona de esfuerzo principal máximo es de ángulo alto (Foto 47).

6.3.4.1.3 Falla Villanueva

Consiste en una estructura lineal localizada en la parte Central del área de estudio, cerca del municipio de Villanueva. Tiene una longitud de 24.75 Km, extendiéndose desde el Noroeste de la Quebrada La Palmita (N1437002, E512700) hasta el Noreste del Cerro Esquipulas (N1425150, E539500) con orientación N70°W.

Morfológicamente se expresa a través de lineamientos de domos y cerros truncados, afectando litológicamente a las unidades de coladas andesíticas (An), lavas riolíticas (R) y sedimentos aluviales (al) y desplazando a las fallas La Esperanza y La Lanza de dirección NE-SW y Chaguite Grande de dirección N-S.



La falla Villanueva está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 4.25 a 10.25 Km, con orientaciones variables de N65°W a N72°W y zonas de relevo de hasta 1500 m, los que son cortados por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de ángulo bajo.

Esta estructura lineal presenta varios indicadores cinemáticos, entre ellos, fracturas paralelas, fracturas con terminación en cola de caballo y estrías de falla (Foto 48), los cuales definen una dirección de movimiento normal con componente lateral derecho, comprobado también con ayuda de la interpretación de fotografías aéreas y del análisis de mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig.21**) .

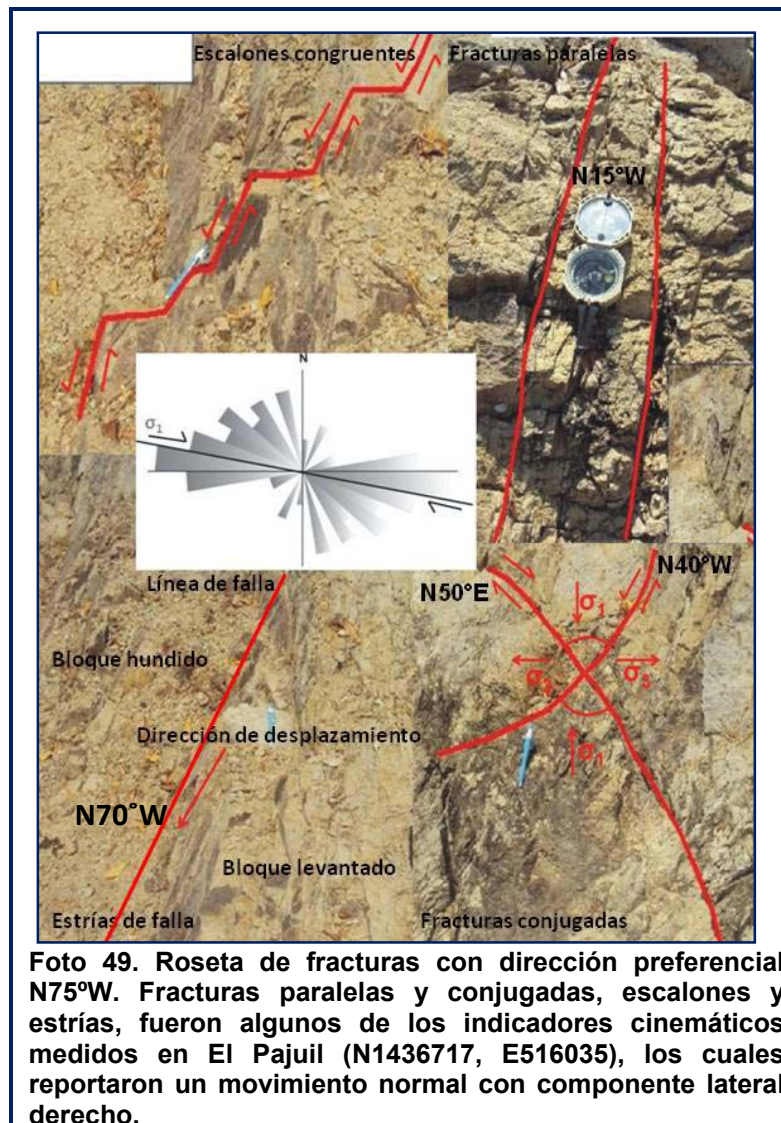
La roseta de fracturas expone una dirección preferencial del esfuerzo máximo hacia el N40°W y una dirección de esfuerzo mínimo hacia el N50°E, lo que indica que la falla es de alto ángulo.

6.3.4.1.4 Falla San Ramón

Es una estructura lineal situada en la parte Central del área de estudio, al Sur del poblado San Ramón.

En el área de Villanueva tiene una longitud de 23 Km, extendiéndose desde la Caldera El Pajuil (N1437003, E514700) hasta la Quebrada El Tamarindo (N1428250, E539500) con orientación preferencial N73°W. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Somotillo, correspondiendo con la Falla Somotillo (López, 2011).

Morfológicamente presenta cerros alineados en dirección NW, desplazando a las fallas La Esperanza, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y Chaguite Grande de dirección N-S y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An), unidad de coladas dacíticas (Da) y unidad de sedimentos aluviales (al).



La falla San Ramón está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 2.25 a 9.25 Km, con orientaciones de N70°W a N75°W y zonas de relevo de hasta 500 m, los que están siendo desplazados por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de bajo ángulo.

El sentido de movimiento de la falla San Ramón, se definió realizando mediciones en El Pajuil (N1436717, E516035), en donde se identificaron fracturas conjugadas, fracturas paralelas, escalones congruentes y estrías de falla (Foto 49).

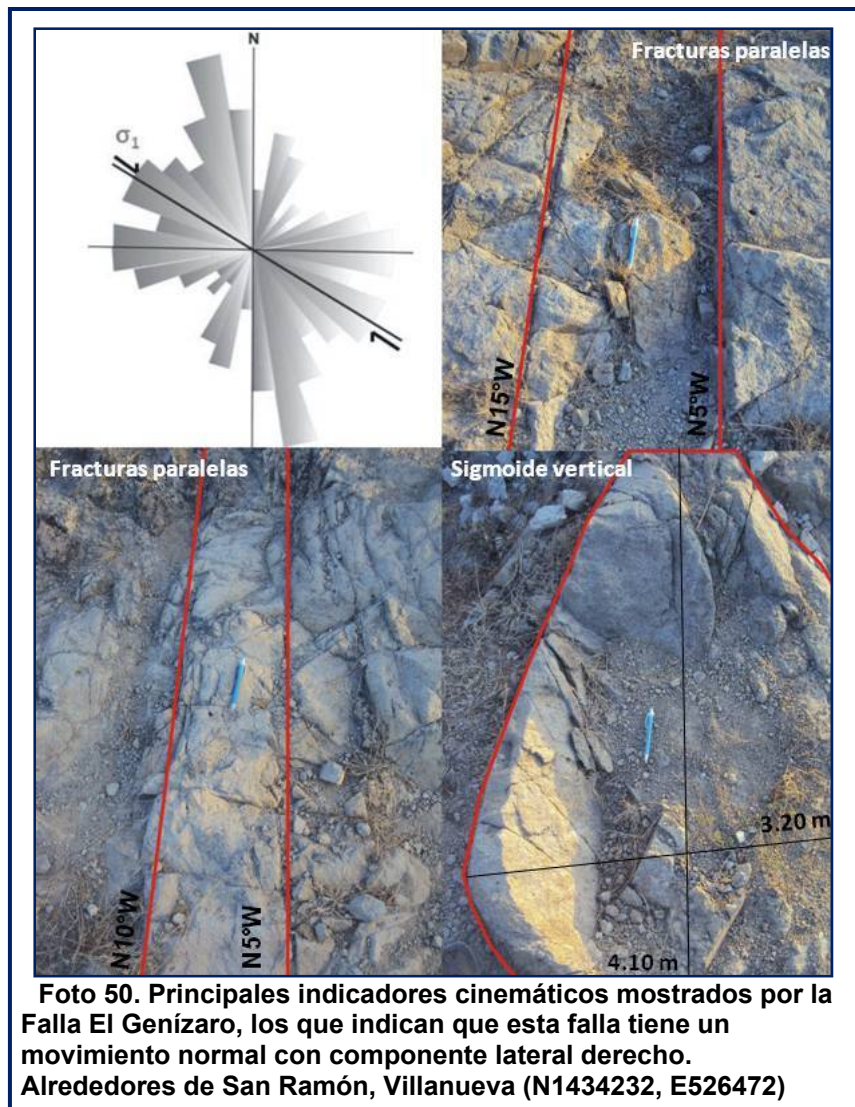
La existencia de fracturas conjugadas, escalones congruentes y estrías, demuestran que la falla San Ramón es transtensional, es decir, una falla normal con componente lateral derecho (Foto 49), corroborando lo observado en fotografías aéreas, mapas digitales y perfil estructural A-A' (**Fig.21**).

6.3.4.1.5 Falla El Genízaro

Se define como una estructura lineal ubicada en la parte Central Norte del área de estudio, al Norte del caserío El Genízaro. Esta falla tiene una longitud de 15.25 Km, extendiéndose desde la Quebrada El Nancital (N1435997, E521750) hasta el Norte del Cerro Terreros Amarillos (N1430650, E537500) con orientación N70°W.

Morfológicamente se expresa a través de cerros cortados en dirección NW, afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) y unidad de coladas dacíticas (Da) y desplazando a las fallas La Esperanza, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y Los Lirios de dirección E-W.

La falla El Genízaro está constituida por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en tres segmentos que varían de 2.75 a 7.5 Km, con zonas de relevo de 800 m y orientaciones variables de N70°W-N75°W. Esta estructura lineal esta siendo cortada por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de ángulo bajo.



Esta falla presenta varios indicadores cinemáticos, entre los principales están, fracturas conjugadas, fracturas bifurcadas, fracturas paralelas y estructuras sigmoidales verticales, de hasta 4.10 m de altura y 3.20 m de ancho (Foto 50), los cuales definen la dirección del movimiento de la falla principal, catalogando esta falla como una falla transtensional, es decir, normal con componente lateral derecho, lo que también se comprobó mediante la interpretación y análisis de fotografías aéreas y mapas preliminares.

La roseta de fracturas muestra que la dirección del esfuerzo máximo es hacia el N60°W, lo que indica que la Falla El Genízaro, es una falla de ángulo alto.

6.3.4.1.6 Falla Los Encuentros

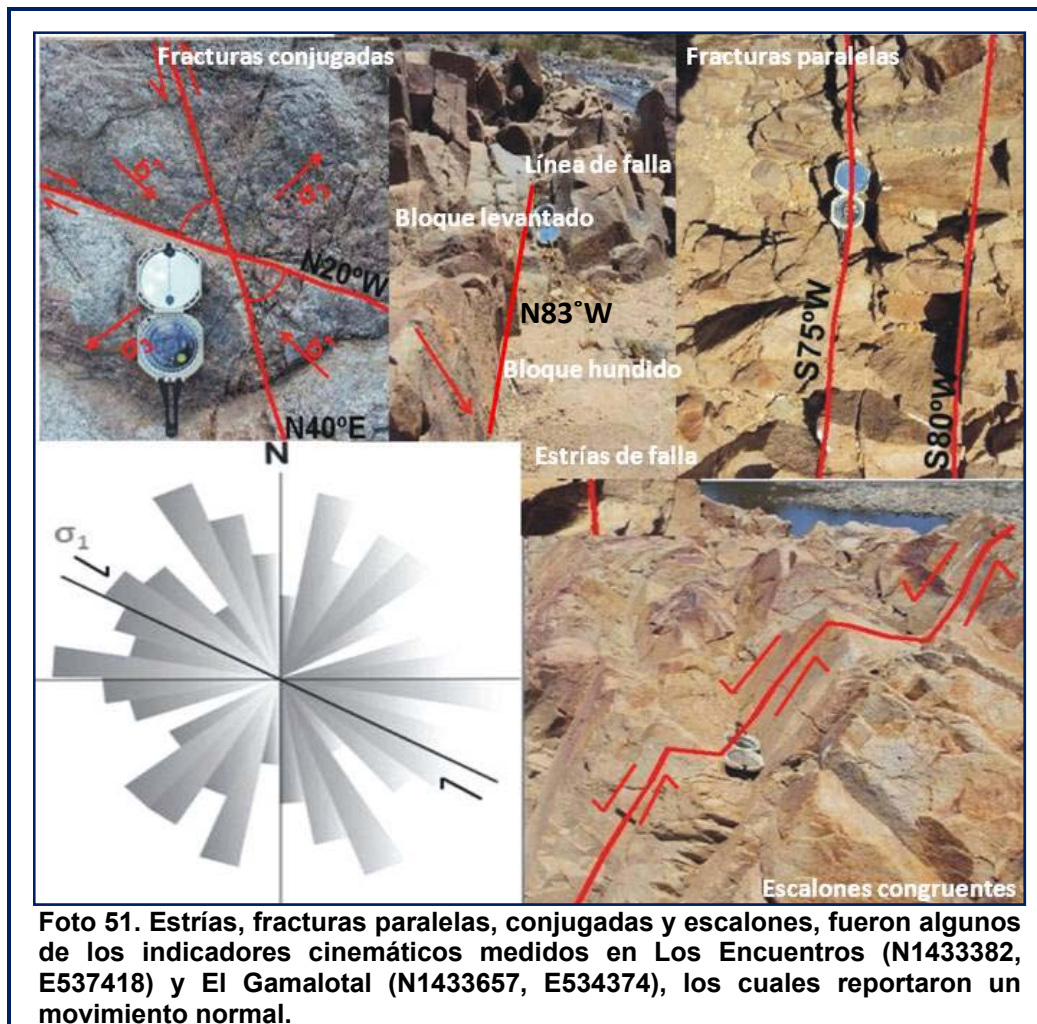
Se trata de una estructura lineal localizada al Norte del área de estudio, cerca de Los Encuentros.

La falla Los Encuentros tiene una orientación preferencial N75°W, cuya longitud de 12.5 Km, extendiéndose desde el Oeste de la Quebrada Las Pilas (N1437003, E525500) hasta el Rio El Portillo (N1432900, E538750). Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Somotillo, correspondiendo con la Falla El Guasimito (López, 2011).

Morfológicamente se manifiesta en el truncamiento de cerros y deflexión del curso del Rio Grande, desplazando a las fallas La Esperanza, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An), unidad de coladas dacíticas (Da) y unidad de intrusivo granodiorítico (Gd).

La falla Los Encuentros está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en tres segmentos que varían de 2 a 7 Km, con zonas de relevo de 750 m, los que son cortados por las fallas Los Tololos y Aserradero de dirección NW de bajo ángulo.

Para determinar el sentido de movimiento de esta falla, se realizaron mediciones en los lugares Los Encuentros (N1433382, E537418) y El Gamalotal (N1433657, E534374), en donde se identificaron fracturas conjugadas, fracturas paralelas, escalones congruentes, estrías de falla (Foto 51) y sigmoides horizontales con arreglo anastomosado de tamaños que varían de 15-30 cm y orientación N57°W.



La existencia de fracturas conjugadas, escalones congruentes y estrías, señalan que la falla Los Encuentros es transtensional, lo que se entiende como falla normal con componente lateral derecho (Foto 51), corroborando lo interpretado a través de las fotografías aéreas y mapas digitales.

El análisis de las rosetas de fracturas, muestra que el esfuerzo máximo esta dirigido hacia N60°W, lo que indica que esta falla tiene un ángulo alto.

6.3.4.1.7 Falla El Matapalo

Consiste en una estructura lineal situada en la parte Central Norte del área de estudio, al Norte del caserío El Matapalo. Tiene una longitud de 14.5 Km, extendiéndose desde la

Quebrada Mal Paso (N1437003, E529200) hasta el Sur del caserío Puente Ocho (N1433250, E545725) con orientación N76°W-N78°W.

Morfológicamente se expresa por el truncamiento de cerros y deflexión del curso del Río Grande, cortando litológicamente a rocas de composición andesítica y granodiorítica y está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en segmentos que varían de 0.75 a 1.75 Km, formando zonas de relevo de hasta 1500 m.

Estructuralmente desplaza a las fallas El Cangrejo, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y Los Loros y El Cerro de dirección N-S, y esta siendo cortada por la falla Aserradero de dirección NW de ángulo bajo.

No fue identificada en el campo, pero a través de la interpretación y el análisis de fotografías aéreas y mapas preliminares, se determinó la existencia de esta falla y se define que tiene un sentido de movimiento normal con componente lateral derecho.

6.3.4.1.8 Falla La Vainilla

Es una estructura lineal ubicada en la parte Central Norte del área de estudio, al Sur del caserío La Vainilla. Esta falla tiene una longitud de 10.75 Km, extendiéndose desde el Cerro Rodeo Grande (N1437003, E534500) hasta el Sur del caserío El Bejuco (N1434200, E545600) con orientación N77°W. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Somotillo, correspondiendo con la Falla El Tule (López, 2011).

Morfológicamente, esta falla se expresa a través de un escarpe bien definido por el truncamiento de cerros y por deflexión del curso del Río Grande. Litológicamente, afecta a rocas de composición granodiorítica y andesítica; y está constituida por dos fallas

discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en dos segmentos de 6.75 y 4 Km, formando una zona de relevo de 500 m.

Estructuralmente desplaza a las fallas El Cangrejo, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y Los Loros y El Cerro de dirección N-S.

No fue identificada en el campo, sin embargo, mediante el análisis e interpretación de fotografías aéreas y mapas preliminares, se determinó la existencia de esta falla y se concluyó que La Vainilla es una falla normal con componente lateral derecho.

6.3.4.1.9 Sistema de Fallas Las Zetas-San Cayetano

Se trata de dos estructuras lineales paralelas **Falla Las Zetas** y **Falla San Cayetano**, localizadas al Este del área de estudio, en la Comarca San Cayetano, cerca de los caseríos Las Zetas y San Cayetano.

La Falla Las Zetas tiene una longitud de 4.25 km y la Falla San Cayetano 7.25 km, respectivamente, extendiéndose desde el NW del caserío Las Zetas (N1430150, E550400; N1428250, E554225) y desde la Loma La Carpintería hasta el Cerro La Pita (N1429750, E546560; N1425730, E554225), ambas con orientación preferencial N65°W.

Morfológicamente muestran un escarpe bien marcado en dirección NW; en el caso de la Falla Las Zetas, desplaza con movimiento lateral derecho el flanco NW de la Caldera Las Limas y a las fallas Quebrada Grande y La Pita de dirección NE-SW, en cambio la Falla San Cayetano, desplaza con movimiento lateral izquierdo al Pilar Tectónico El Sauce.

La Falla Las Zetas esta formada por un segmento de 4.25km, con arreglo simple y afecta litológicamente rocas de composición dacítica, mientras que la Falla San Cayetano esta constituida por dos fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en

segmentos de 3 y 4.25 km, que afectan litológicamente rocas de composición andesítica y dacítica y forma una zona de relevo de 1500 m.

El sentido de movimiento de este sistema de fallas, se definió a través del análisis y la interpretación de fotografías aéreas y mapas preliminares, en los que se observó que ambas fallas son normales con una variante en sus componentes laterales.

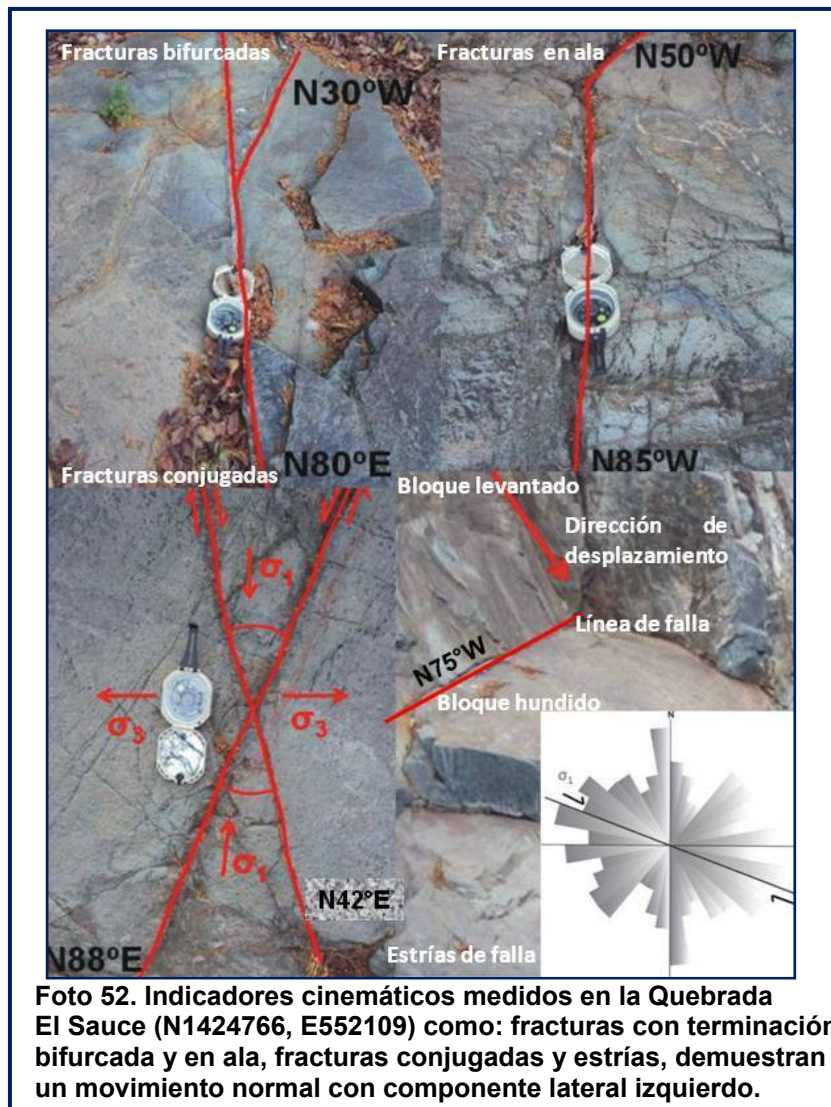
6.3.4.1.10 Sistema de Fallas La Jícara-El Tejar

Consiste en dos estructuras lineales paralelas **Falla La Jícara** y **Falla El Tejar**, localizadas al Este del área de estudio, en las Comarcas El Salitre y San Ramón, cerca de los caseríos La Jícara y El Tejar.

Ambas fallas tienen una longitud de 3 km, extendiéndose sobre la Quebrada El Sauce (N1425150, E551350; N1424400, E554225) y sobre las Lomas San Ramón (N1422250, E551800; N1421550, E554225) con orientación preferencial N75°W.

Morfológicamente muestran un escarpe bien definido en dirección NW, desplazando con movimiento lateral izquierdo la parte Sur del Pilar Tectónico El Sauce y afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) y la unidad de coladas dacíticas (Da).

Estos sistemas de fallas están formados por un segmento de 2.5 y 2.75 km respectivamente, con arreglo simple.



El sentido de movimiento de este sistema de fallas, se determino realizando mediciones en la quebrada El Sauce (N1424766, E552109) y quebrada San Ramón (N1421150, E554225), en donde se observaron fracturas con terminación bifurcada y en ala, fracturas conjugadas y estrías de falla, demostrando que este sistema de fallas es transtensional, es decir, fallas normal con componente lateral izquierdo (Foto 52), confirmando así lo observado en fotografías aéreas y mapas digitales.

Con estas mediciones se realizó una roseta de fracturas, en la que se demuestra que el esfuerzo máximo se dirige hacia el N70°W, indicando que este sistema de fallas es de alto ángulo.

6.3.4.2 Fallas NW de bajo ángulo

Estas fallas tienen una dirección menor a N45°W y las más importantes son:

6.3.4.2.1 Falla Los Tololos

Se define como una estructura lineal localizada en la parte Central del área de estudio, cerca del poblado Los Tololos. La falla Los Tololos tiene una longitud de 11.5 Km, extendiéndose desde la Quebrada Aguas Calientes (N1437003, E528900) hasta el Cerro Las Minitas (N1425125, E530450) con orientación preferencial N10°W. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Achuapa, correspondiendo con la Falla El Danto (López, 2011).

Morfológicamente se expresa a través de un escarpe bien definido, formado a partir del truncamiento de cerros en dirección de la falla principal, también se expresa por la rectangularidad del drenaje de algunas quebradas a lo largo de la falla.

Estructuralmente desplaza con movimiento lateral derecho a las fallas Los Encuentros, El Genízaro, San Ramón, Villanueva, Gaspar García Laviana y El Hoyo de dirección NW de ángulo alto y Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW, afectando litológicamente a la unidad de coladas andesíticas (An) y unidad de coladas dacíticas (Da).

La falla Los Tololos está formada por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en tres segmentos que varían de 1.5 a 5.5 Km, con zonas de relevo variables de 700 m a 1000 m.

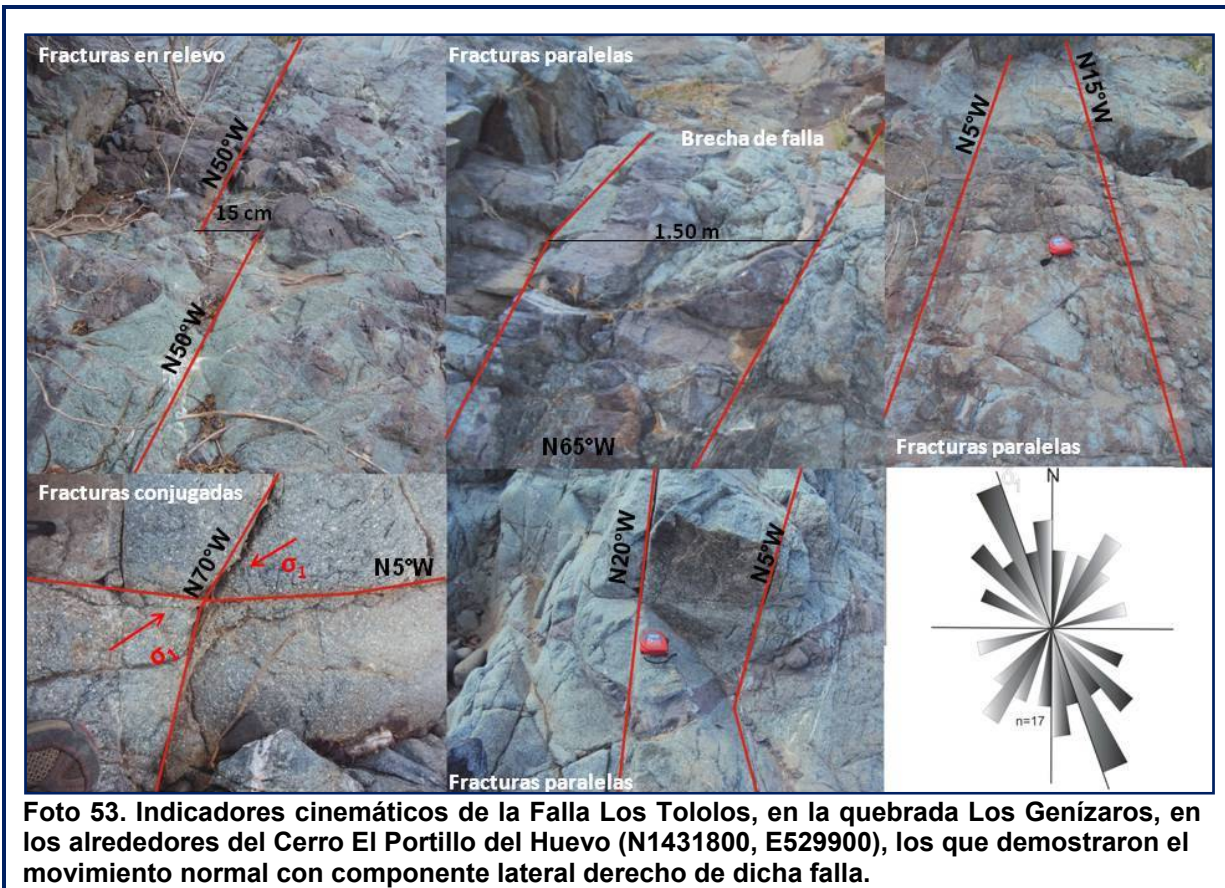


Foto 53. Indicadores cinemáticos de la Falla Los Tololos, en la quebrada Los Genízaros, en los alrededores del Cerro El Portillo del Huevo (N1431800, E529900), los que demostraron el movimiento normal con componente lateral derecho de dicha falla.

El sentido de movimiento de esta falla, se definió realizando mediciones a lo largo de la estructura lineal, en donde se estudiaron fracturas con zonas de relevo de 15 cm de ancho, fracturas conjugadas, fracturas paralelas y brecha de falla con un ancho aproximado de 1.5 m (Foto 53), demostrando así, que la Falla Los Tololos es transtensional, es decir, falla normal con componente lateral derecho.

La roseta de fracturas expone una dirección preferencial N20°W, indicando que la zona de esfuerzo máximo es de ángulo bajo.

6.3.4.2.2 Falla El Aserradero

Se trata de una estructura lineal situada en la parte Central del área de estudio, al Noreste del caserío El Aserradero. Tiene una longitud de 14.75 Km, extendiéndose desde el Río Grande (N1437003, E531000) hasta el Cerro La Ceibita (N1422800, E535800) con

orientación preferencial N15°W. Hacia el Norte se extiende hasta la hoja topográfica de Achuapa, constituyendo la extensión sur de la Falla Los Araditos (López, 2011).

Morfológicamente, se caracteriza por mostrar un marcado escarpe en dirección NW con cerros truncados, afectando litológicamente a rocas de composición andesítica y desplazando a las fallas El Matapalo, Los Encuentros, El Genízaro, San Ramón, Villanueva, Gaspar García Laviana y El Hoyo de dirección NW de alto ángulo y El Cangrejo, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW.

En base a los rasgos morfológicos y con la información extraída a partir del análisis e interpretación de fotografías aéreas, mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig. 21**), se determinó que la Falla Aserradero, está compuesta por un sistema de fallas discontinuas con geometría en echelón izquierdo, separadas en tres segmentos que

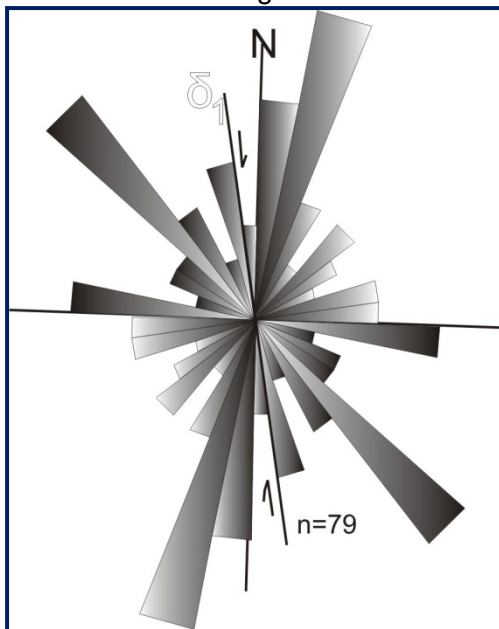


Figura 23. Roseta de fracturas de la Falla El Aserradero

varían de 3.5 a 5.75 Km, formando zonas de relevo de 250 m a 500 m.

Aunque no fue identificada en el campo, con los datos obtenidos a partir de fotografías aéreas y mapas digitales, se definió que el sentido de movimiento de esta falla es transtensional, lo que quiere decir que es normal con una componente lateral derecha.

La roseta de fracturas, elaborada a partir de datos de la interpretación fotoestructural, indica una dirección preferencial hacia N10°W, lo que demuestra que el esfuerzo máximo es de bajo ángulo (**Fig. 23**).

6.3.4.2.3 Falla La Troja

Estructura lineal localizada al Noreste del área de estudio, en la Comarca La Troja, al NE del caserío Corre Viento; con una longitud de 6 km, extendiéndose desde el Sur de la finca Hato Quemado (N1435995, E550450) hasta el NE del Cerro El Tizate (N1430450, E552500) con orientación N20°W.

Morfológicamente, esta falla se expresa a través de un escarpe bien definido por el truncamiento de cerros, afectando litológicamente a rocas de composición andesítica y tobas dacíticas y desplazando con movimiento lateral derecho a la falla Los Lirios de dirección E-W y al flanco Norte de la Caldera Las Limas.

La falla La Troja esta formada por un segmento de 6 km con arreglo simple y tiene un sentido de movimiento normal con componente lateral derecho, el cual se identificó con ayuda del análisis e interpretación de fotografías aéreas, mapas preliminares y perfil estructural A-A' (**Fig. 21**).

6.4 Estructuras Volcánicas Circulares y Semicirculares

La subducción de la placa oceánica de Cocos por debajo de la placa continental del Caribe, da origen a la actividad volcánica de Nicaragua y de la consecuente formación de las estructuras circulares y semicirculares (Lilljequist y Hodgson, 1983).

Al finalizar la formación de fallas en dirección N-S, se emplazaron en estas, grandes estructuras volcánicas antiguas, que con su intensa actividad cubrieron la parte Este del área de estudio con rocas de composición andesítica y dacítica; y que por su evolución magmática produjeron erupciones explosivas y descompresión violenta, provocando así su hundimiento y colapso, estas corresponden a las calderas La Sabana, Las Limas y San Ramón (**Fig.21**).

Posteriormente, el segundo emplazamiento de estructuras volcánicas recientes se originó al finalizar la formación de fallas en dirección NW-SE, cubriendo la parte Oeste del área de estudio con rocas de composición andesítica y riolítica, y que por el intenso fallamiento en esta parte del área se produjo el hundimiento y colapso de estas estructuras, las que corresponden a las calderas La Coyotera, Chaguite Grande y estructuras semicirculares San Pascual, El Pajuil y Los Alacranes (**Fig.21**).

Cabe mencionar que lo antes escrito coincide con lo propuesto por Lilljequist y Hodgson (1983), en lo que se refiere a que la actividad volcánica y magmática se desplazó de Este a Oeste durante el Terciario, evidenciado en que las rocas volcánicas del Oeste del área son más recientes que las depositadas en el Este, ya que se ubican en la zona de transición entre las rocas volcánicas Terciarias y las rocas volcánicas Cuaternarias.

Así mismo, se observó que las estructuras volcánicas emplazadas en dirección NW-SE, se relacionan con depósitos minerales a través de vetas epitermales, detalle que no se observó en las estructuras volcánicas emplazadas en dirección N-S.

Las estructuras circulares y semicirculares determinadas en el área de estudio son:

6.4.1 Caldera La Sabana

Se trata de una estructura volcánica en forma de herradura, localizada al Noreste del área de estudio en la comarca La Sabana.

Tiene un diámetro mayor aproximado de 3.25 km, formada por los Cerros La Gorra (N1434480, E49200), La Virgen (N1433650, E549500), La Palmita (N1432800, E549725) y La Horqueta (N1432100, E547850) (Foto 54).

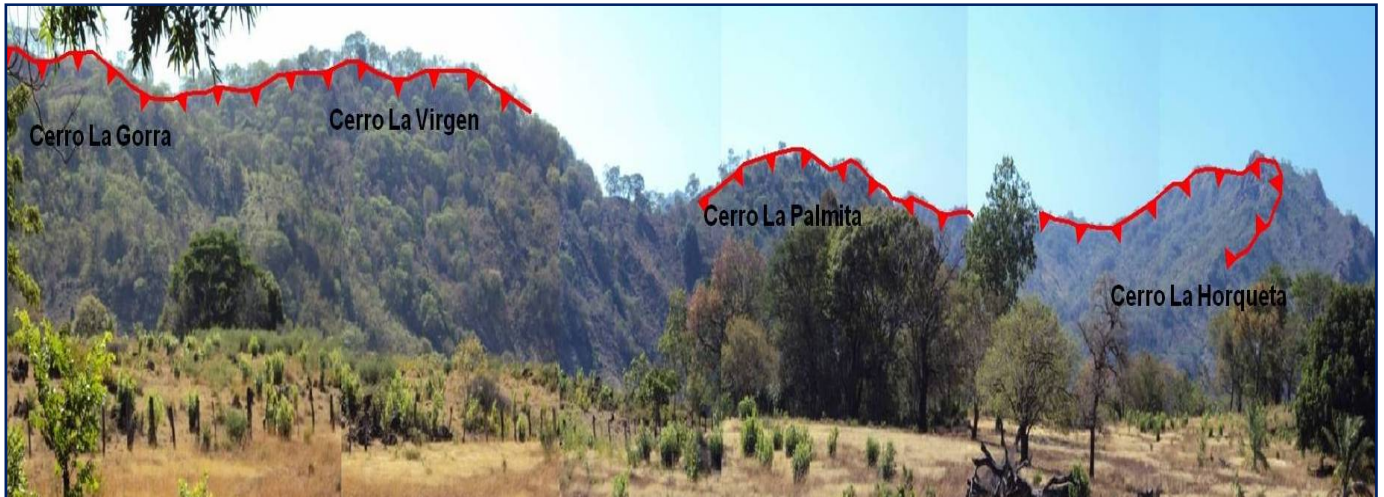


Foto 54. Flanco Este de la Caldera La Sabana asociada a rocas de composición andesítica y formada por los Cerros La Gorra, La Virgen, La Palma y La Horqueta. Comarca La Sabana, El Sauce (N1436001, E547750).

Su formación se atribuye al colapso en el flanco Norte, que provocó la abertura del cráter hacia la parte Noroeste de la estructura, lo que conllevó al derrame de lava dacítica en la misma dirección. Por este motivo, las paredes de esta caldera son casi verticales, ya que el descenso del nivel de la lava se produjo de manera muy rápida.

La actividad volcánica de esta caldera, continuo con erupciones explosivas que dieron lugar a la extrusión de lava riolítica, acompañada por brechas de la misma composición, y culminó con la acumulación de gas por debajo del magma viscoso, el cual se liberó en forma de una explosión sin derrame de magma fresco, formando un domo riolítico en el margen Este de dicha caldera.

6.4.2 Caldera Las Limas

Es una estructura volcánica circular, ubicada al este del área de estudio en los alrededores del caserío Las Limas.

La caldera Las Limas tiene un diámetro mayor aproximado de 5.7 km, formada por los Cerros El Carrizo (N1429500, E550500), El Panamá (N1430200, E551300), El Tizate

(N1430450, E552200), La Pita (N1425750, E554000) y Los Milagros (N1425650, E551450) (Foto 55).



Foto 55. Flanco Este de la Caldera Las Limas, relacionada con rocas de composición dacítica y tobas dacíticas, afectada por los patrones de fallamiento NE-SW y NW-SE. Comarca Corre Viento, El Sauce (N1430100, E551780).

Se relaciona a rocas de composición dacítica con cuerpos dómicos intracaldéricos de composición riodacítica, emplazados a lo largo de la falla Las Zetas con dirección NW-SE. Se encuentra deformada y segmentada por las fallas Quebrada Grande y La Pita con dirección NE-SW y Las Zetas y La Troja con dirección NW-SE.

La formación de esta caldera fue acompañada de explosiones piroclásticas evidenciadas por la presencia de tobas dacíticas, culminando sus eventos volcánicos con la extrusión de los domos riodacíticos en la parte central de la caldera, controlados por el fallamiento que afecta a esta caldera.

6.4.3 Caldera San Ramón

Se define como una estructura volcánica anular, situada al Sureste del área de estudio en la comarca San Ramón, por lo que se nombro así en este trabajo.

Esta caldera tiene un diámetro menor aproximado de 2.5 km, formada por el Cerro Buena Vista (Coordenadas 1422570N, 553725E) y Loma Pelona (Coordenadas 1420150N, 552600E) (Foto 56).



Se asocia a rocas de composición andesítica con un cuerpo dómico intracaldérico de composición dacítica y se encuentra segmentada por la falla El Tejar con dirección NW-SE.

Esta caldera culminando sus eventos volcánicos con la extrusión de un domo dacítico en la parte Central Sur.

6.4.4 Estructura Semicircular San Pascual

Consiste en una estructura volcánica de forma semicircular, situada al Noroeste del área de estudio, cerca del caserío San Pascual. Esta estructura semicircular tiene un diámetro mayor aproximado de 1.8 Km, formada por el Cerro El Granadillo (N1436370, E509480), y asociada a rocas de composición dacítica.

6.4.5 Estructura Semicircular El Pajuil

Se trata de una estructura volcánica semicircular, localizada al Noroeste del área de estudio, en la comarca El Pajuil. Tiene un diámetro mayor aproximado de 3.5 Km (área de Villanueva) y está formada por los Cerros La Esperanza (N1436820, E514170) y El Tigre (N1436520, E516180), continuando en el área de Somotillo. Se relaciona a rocas de composición andesítica y esta deformada y segmentada en el flanco Sur por la falla San Ramón de dirección NW-SE.

6.4.6 Estructura Semicircular Los Alacranes

Es una estructura volcánica de forma semicircular, ubicada al Suroeste del área de estudio, cerca de la comarca Israel en el llano El Carabajal. Esta estructura semicircular tiene un diámetro mayor aproximado de 2 km y está formada por el Cerro Los Alacranes (N1423220, E521150), asociada a rocas de composición andesítica.

6.4.7 Caldera La Coyotera

Se define como una estructura volcánica circular, situada en la parte Central Oeste del área de estudio, en la comarca La Coyotera; nombrada así por Rodríguez, D. en 1989.

La caldera La Coyotera tiene un diámetro mayor aproximado de 2.5 km y está formada por los Cerros La Coyotera (N1431620, E524250), Rancho Cuero (N1431200, E526000), El Garrobo (N1431520, E526725) y Pílon de Azúcar (N1431980, E526500) (Foto 57).

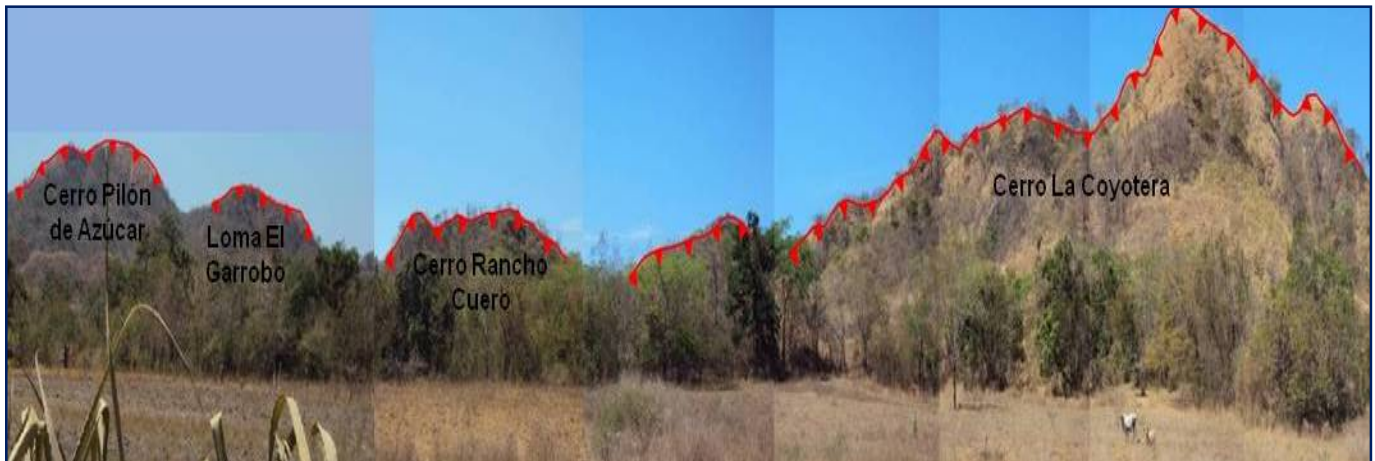


Foto 57. Flanco Sur de la Caldera La Coyotera con sus respectivos cerros, interpretados como cuerpos dómicos riolíticos a lo largo del flanco Sur de una antigua estructura de caldera. La Coyotera, Villanueva (N1431880, E524703).

Se relaciona a rocas de composición riolítica constituyendo cuerpos dómicos a lo largo del flanco Sur de la caldera Villanueva, que a su vez se subordina a la caldera mayor de El Sauce (Rodríguez, 1989).

La formación de esta caldera fue acompañada de explosiones piroclásticas (brechas y cenizas), culminando sus eventos volcánicos con la extrusión de los domos riolíticos en el margen Sur, incluyendo levantamiento estructural en el flanco Sur de la caldera y actividad hidrotermal como consecuencia del calor aportado por el cuerpo magmático (Rodríguez, 1989).

6.4.8 Caldera Chagüite Grande

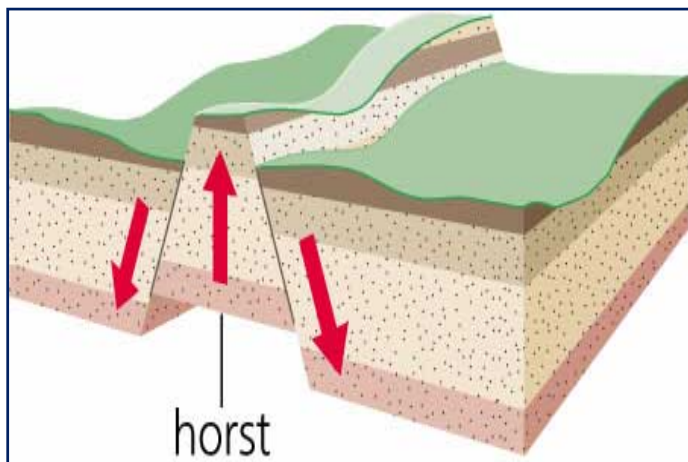
Consiste en una estructura volcánica semielíptica, situada en la parte Central Sur del área de estudio, en los alrededores de las fincas Chagüite Grande.

Esta caldera tiene un diámetro mayor aproximado de 4.25 km y está formada por los Cerros Corral Viejo (N1428225, E536650), El Jicarito (N1428200, E537750), La Pizota (N1425250, E538720), Esquipulas (N1423800, E537750) y Cascajoso (N1425670, E535400).

Se asocia a rocas de composición andesítica con cuerpos dómicos intracaldéricos de composición dacítico y se observa deformada y segmentada por la falla Villanueva con dirección NW-SE.

La actividad volcánica de esta caldera, culmino con la extrusión de domos dacíticos en la parte Central.

6.5 Pilares Tectónicos



Un pilar tectónico (horst) es una estructura relativamente levantada y limitada por fallas con desplazamiento vertical (**Fig. 24**), que a su vez delimitan depresiones tectónicas (grabens). Geológicamente está constituido por rocas más antiguas que las que forman la fosa.

Figura 24. Esquema de un pilar tectónico o horst.

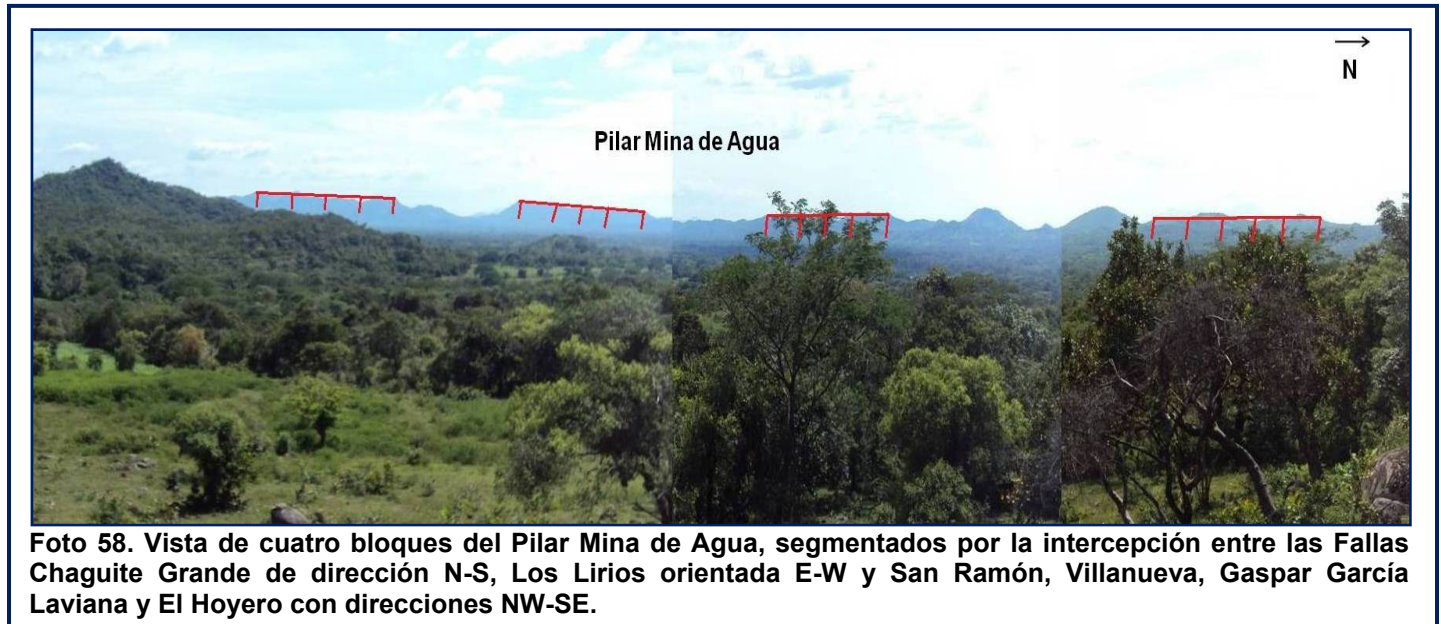
En el área de Villanueva y El Sauce se determinaron tres pilares tectónicos denominados Mina de Agua, Los Loros y El Sauce (**Fig.21**).

6.5.1 Pilar Mina de Agua

Situado en la parte Central-Este del área de estudio, al Oeste de la ciudad de El Sauce, con 8.76 Km de longitud y 2.4 Km de ancho promedio, extendiéndose desde el Cerro La Zacatosa (N1432800, E537600) hasta el Cerro El Espinalito (N1419750, E539725) y orientado N-S.

En la parte Este se encuentra limitando la Depresión Tectónica El Sauce a través de la Falla Chaguite Grande y está constituido por los Cerros La Zacatosa, Loma La Mesilla, Lomas Plan del Guásimo, Loma El Tamarindo, Loma La Pizota, Esquipulas, Rincón

Escondido, El Pilón y El Espinalito, entre otros, con alturas que varían entre 120-320 msnm provocando un desnivel de 200 m y un rango de pendientes que van de 0° a 40°.



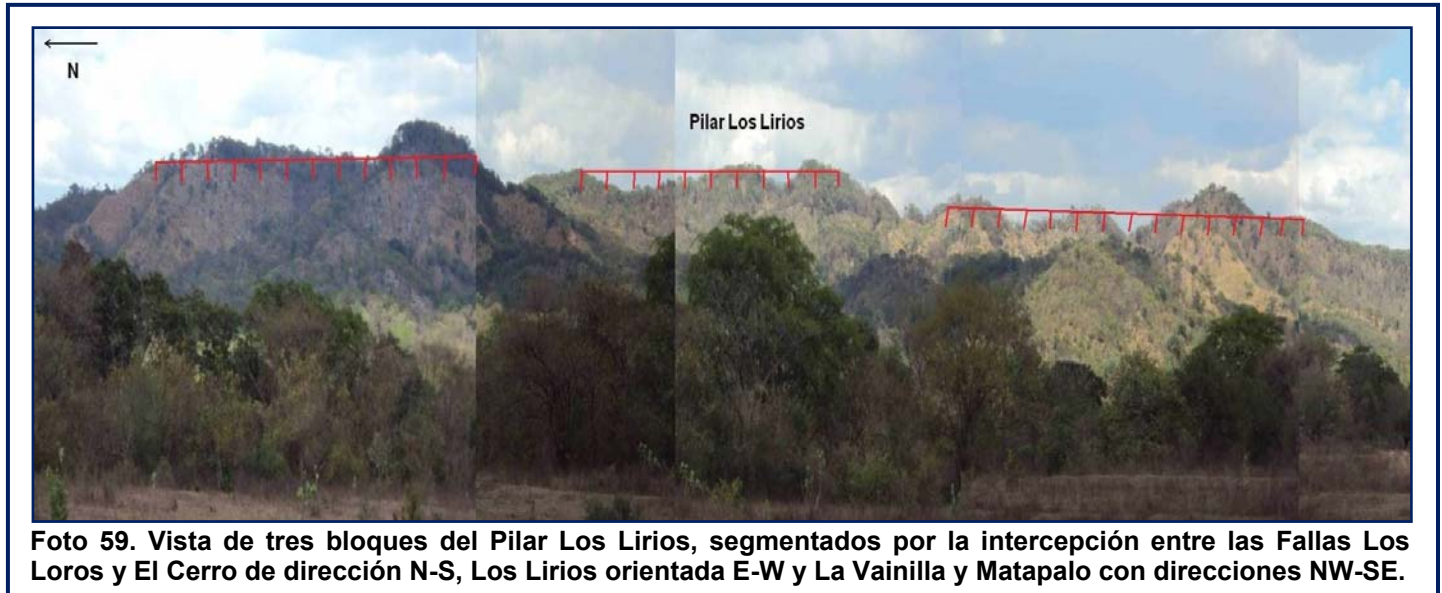
El Pilar de Mina de Agua está dividido en seis bloques (Foto 58) que varían de 1 a 2.75 km, los que se separaron debido a la intersección entre los patrones de fallamiento N-S, E-W y NW-SE. Litológicamente está constituido por rocas de composición andesítica de edad Mioceno, consideradas como el basamento litológico de la zona.

6.5.2 Pilar Los Lirios

Se localiza en la parte Noreste del área de estudio, al Oeste de la ciudad de El Sauce, con 4.8 Km de longitud y 2.5 Km de ancho promedio, extendiéndose desde el Cerro Ahorca Caballo (N1435250, E543000) hasta la Finca San José (N1429175, E545000) y orientado N-S.

Constituye la parte Central-Norte de la Depresión Tectónica El Sauce, formando dos semidepresiones tectónicas, delimitadas por las Fallas Los Loros y El Cerro y está conformado por los Cerros Ahorca Caballo, Loma El Bejuco, Chaguite Grande, Los Lirios,

La Coyotera y Loma La Cruz, con elevaciones que varían entre 160-540 msnm con un desnivel de 380 m y un rango de pendientes que van de 0° a 60°.



El Pilar Los Lirios está dividido en cuatro bloques (Foto 59) que van de 0.75 a 2.5 km, separados por la intersección entre los patrones de fallamiento N-S, E-W y NW-SE. cortado por las fallas El Cangrejo, Los Rincones y La Lanza de dirección NE-SW y desplazado por la falla Los Lirios de dirección E-W y las fallas Los Encuentros, El Matapalo y La Vainilla de dirección NW-SE.

Litológicamente está compuesto por rocas de composición granodiorítica, constituyendo aproximadamente la tercera parte del gran cuerpo plutónico de El Sauce.

6.5.3 Pilar El Sauce

Ubicado en la parte Oriental del área de estudio al Este de la ciudad de El Sauce, con 9.6 Km de longitud y 4.8 Km de ancho promedio (Hoja topográfica El Sauce), extendiéndose desde el Cerro La Gorra (N1434800, E549225) hasta la Quebrada San Ramón (N1420225, E553150) y orientado N-S.

En la parte Oeste se encuentra limitando la Depresión Tectónica El Sauce a través de la Falla El Sauce y está compuesto por los Cerros La Gorra, La Virgen, La Palmita, La Horqueta, El Zopilote, El Tizate, El Carrizo, Chato, Los Pilares, La Pita, Buena Vista y Lomas San Ramón, entre otros, con alturas que varían entre 140-820 msnm creando un desnivel de 680 m y un rango de pendientes que van de 20° a 80°.



Foto 60. Vista de tres bloques del Pilar El Sauce, segmentados por la intercepción entre las Fallas El Sauce de dirección N-S, Los Lirios orientada E-W y San Cayetano con dirección NW-SE.

El Pilar El Sauce está dividido en cinco bloques (Foto 60) que varían de 1 a 2.5 km, los que se separaron a causa de la intersección entre los patrones de fallamiento N-S, E-W y NW-SE. Litológicamente está constituido por rocas de composición intermedia a acidas, tales como andesitas, dacitas, tobas dacíticas, riodacitas y riolitas.

6.6 Depresión Tectónica

Una depresión tectónica (graben) es un valle alargado, formado por el hundimiento de un bloque limitado por fallas con desplazamiento vertical (**Fig. 25**) y pilares tectónicos (horsts). Geológicamente presenta rocas más jóvenes que las que forman los pilares.

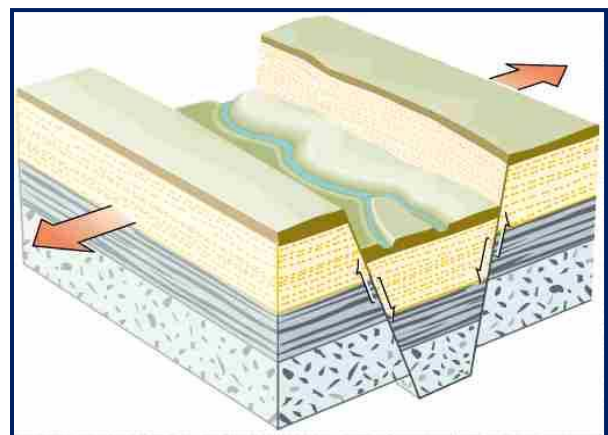


Figura 25. Esquema de una depresión tectónica o graben

En el área de Villanueva y El Sauce se determino una depresión tectónica, nombrada en este trabajo como Depresión Tectónica El Sauce (**Fig.21**).

6.6.1 Depresión Tectónica El Sauce

La Depresión Tectónica El Sauce se encuentra en la parte Este del área de estudio, al Oeste de la ciudad de El Sauce, con 11.28 Km de largo y con un ancho irregular que varía de 4.8 a 8.4 Km de ancho, extendiéndose desde el Rio Grande (N1437005, E543500) hasta la Quebrada San José (N1418750, E551450) y orientada N-S.



Estructuralmente está afectada por los patrones de fallamiento E-W y NW-SE y se encuentra delimitada por las fallas Chaguite Grande y el Pilar Mina de Agua al Oeste (Foto 61) y la Falla El Sauce y el Pilar El Sauce al Este, con elevaciones que varían entre 100 a 200 msnm conforme se acerca a los pilares tectónicos que la limitan y rangos de pendientes que van de 0° a 20° en la parte Sur y de 20° a 60° en la parte Norte, debido a la intrusión del cuerpo plutónico que formo el Pilar Los Lirios.

Esta depresión tectónica, litológicamente esta rellena por sedimentos aluviales con un espesor estimado de 100m, el cual se cree que descansa sobre un basamento andesítico de edad Mioceno.

CAPITULO VII

DISCUSION

Tectónicamente el Occidente de Nicaragua, al igual que el resto de Centroamérica, se origino a consecuencia de la interacción entre las placas de Cocos y del Caribe, en donde la placa de Cocos es subducida debajo del continente, a una velocidad aproximada de 8 cm/año, con un ángulo aproximado de 80° (Astrand, 1984) y extendiéndose a profundidades mayores de 200 km bajo América Central, formando la Fosa Mesoamericana (Dengo y Case, 1990).

De acuerdo con lo propuesto por Lilljequist & Hodgson (1983), el proceso de subducción entre ambas placas dio origen a la intensa actividad volcánica durante el Terciario y a la formación de estructuras circulares y semicirculares, las que migraron gradual de Este a Oeste hasta la actual posición de la zona de subducción, difiriendo de lo propuesto por los autores en que estas estructuras geológicas definen paleo arcos curvos.

En 1992 Weinberg propuso que la actividad tectónica ocurrida en la Provincia Central y del Pacífico durante el Terciario sucedió en tres fases: 1) Intenso vulcanismo en el Mioceno Superior producto de un tectonismo compresional debido a la subducción entre las placas de Cocos y del Caribe, que dio lugar a la formación del Arco Volcánico del Coyol. 2) Esfuerzos extensivos en el Plio-Pleistoceno causados por un aumento en el ángulo de subducción, disminución de la tasa de convergencia y una disminución del acoplamiento entre el Bloque Chortis y la Placa de Cocos, provocando fallamiento normal que dio origen a la Depresión Nicaragüense, y 3) Migración gradual de la actividad volcánica en el Pleistoceno-Holoceno hacia la zona de subducción.

En base al análisis e interpretación de los datos estructurales realizado en este estudio, se observó cierta analogía así como refutaciones con lo expuesto por Weinberg, ya que en el área de Villanueva y El Sauce el fallamiento se produjo de la siguiente manera:

- 1) La primera fase de fallamiento corresponde a una dirección preferencial N-S, en donde los esfuerzos de compresión provocaron un fallamiento con condiciones optimas para un intenso vulcanismo, seguido de esfuerzos de extensión que produjeron fallamiento normal e inverso dando origen a la formación de los Pilares Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce y a la Depresión Tectónica El Sauce. Se coincide con Weinberg en la sucesión de eventos tectónicos y volcánicos pero se difiere en la dirección de dichos esfuerzos de compresión y extensión que provocaron estos eventos geológicos.
- 2) Al culminar el primer emplazamiento de las estructuras volcánicas Terciarias a través de fallas N-S y su intensa actividad y evolución magmática, se produjo la segunda fase de fallamiento, correspondiente a una dirección preferencial N30°E, que causo descompresión violenta de algunas cámaras magmáticas y su posterior hundimiento y colapso dando lugar a la formación de grandes calderas.
- 3) Posterior al colapso de algunas estructuras volcánicas por el fallamiento NE-SW, se produjo la tercera fase de fallamiento, correspondiente al patrón de E-W, la cual desplaza hacia el Este a los Pilares Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce y a la Depresión Tectónica El Sauce, afectando de forma perpendicular las estructuras volcánicas contenidas en el Pilar El Sauce.
- 4) Después del fallamiento E-W que desplazó los Pilares Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce y la Depresión Tectónica El Sauce, se produjo la cuarta y última fase de fallamiento que corresponde al patrón con dirección preferencial NW-SE, la que

permitió el segundo emplazamiento de estructuras volcánicas que colapsaron por el posterior fallamiento NW de ángulo bajo.

En concordancia con Ehrenborg (1996), las rocas del área de estudio se originaron como consecuencia de la actividad del Arco Volcánico del Coyol, clasificado como un vulcanismo de escudo estratiforme, representados en Villanueva y El Sauce por las estructuras circulares y semicirculares.

De acuerdo con Hodgson (1971), las estructuras caldéricas, principalmente las alineadas NW-SE, pueden correlacionarse directamente con la formación de depósitos de vetas epitermales a lo largo de márgenes de calderas, ejemplo de esto son depósitos metalogenéticos ubicados dentro de la estructura semicircular El Pajuil y fuera de la caldera La Coyotera.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

La actividad tectónica y volcánica ocurrida durante el Terciario y generada a partir de la subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa del Caribe, creó condiciones óptimas que permitieron el desarrollo geológico-estructural de Villanueva y El Sauce, dando lugar a la formación de rocas volcánicas y plutónicas que varían desde básicas hasta muy ácidas, siendo afectadas por esfuerzos de compresión y extensión que produjeron deformación permanente y formaron estructuras geológicas como fallas, pilares tectónicos y fosa tectónica.

Del levantamiento geológico realizado en el área de estudio, se reconocieron ocho unidades litoestratigráficas, correspondientes a una secuencia producida por eventos volcánicos sucesivos a partir de varios puntos efusivos, cuya composición varía desde andesitas, en la parte basal, hasta sedimentos aluviales, en la parte superficial e intruida por un cuerpo plutónico ácido. Estas unidades son: ***Unidad de Coladas Andesíticas, Unidad de Coladas Basálticas, Unidad de Lavas Riolíticas, Unidad de Coladas Dacíticas, Unidad de Flujo Piroclástico Dacítico, Unidad de Domos Intracaldéricos Riodacíticos, Unidad de Intrusivo Granodiorítico y Unidad de Sedimentos Aluviales.***

A través del mapeo geomorfológico en las hojas topográficas de Villanueva y El Sauce, se clasificó el relieve local en cinco unidades geomorfológicas, cada una con sus subunidades correspondientes: ***Unidad de Origen Denudacional:*** Subunidad de Colinas Denudacionales; ***Unidad de Origen Volcánico:*** Subunidad de Coladas de Lava, Subunidad de Remanentes de Calderas, Subunidad de Colinas Volcánicas y Cerros Testigos; ***Unidad de Origen Estructural:*** Subunidad de Topografía Ondulada, Subunidad de Domos; ***Unidad de Origen Intrusivo y Unidad de Origen Fluvial:*** Subunidad de Llanuras Aluviales.

Basado en el análisis e interpretación estructural, se concluyo que en el área de Villanueva y El Sauce acontecieron cuatro fases de fallamiento producto de la actividad tectónica entre las placas Cocos y Caribe durante el Terciario:

- **Fase de Fallamiento N-S:** primera fase de fallamiento que permitió el emplazamiento de aparatos volcánicos caracterizados por un intenso vulcanismo y originó fallas verticales con movimiento normal e inverso de direcciones N8°W aproximado N-S, las que formaron la Fosa El Sauce y los Pilares Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce.
- **Fase de Fallamiento NE-SW:** segunda fase de fallamiento que origino fallas verticales con movimiento normal de dirección preferencial N30°E, dos de ellas con componente lateral derecho (Falla Quebrada Grande y La Pita) provocando el hundimiento y colapso de la Caldera Las Limas.
- **Fase de Fallamiento E-W:** tercera fase de fallamiento que origino fallas horizontales con movimiento lateral izquierdo y provoco el desplazamiento de la Fosa El Sauce y los Pilares Mina de Agua, Los Lirios y El Sauce.
- **Fase de Fallamiento NW-SE:** cuarta y última fase de fallamiento que origino fallas con variaciones en el ángulo de dirección: fallas normales con componente lateral derecho y de alto ángulo, exceptuando las Fallas San Cayetano, El Tejar y La Jícara que son normales con componente lateral izquierdo; y fallas normales con componente lateral derecho y de bajo ángulo. Este patrón de fallamiento ocasiono el desplazamiento de todas las estructuras lineales antes mencionadas.

CAPITULO IX

RECOMENDACIONES

Para enriquecer el conocimiento científico en el ámbito geotectónico y geoestructural de Nicaragua se recomienda:

- Elaborar estudios geológicos a detalles, identificando los centros eruptivos en base a sus facies cercanas, medias y distales.
- Realizar estudios de geología estructural a detalles, basados en el análisis e interpretación de esfuerzos y deformaciones tectónicas, dirigidos a elaborar un modelo estructural completo.
- Desarrollar estudios petrológicos y geoquímicos a detalles, que determinen la génesis de los magmas formadores de las rocas del área, tomando en cuenta el ambiente geológico.

CAPITULO X

BIBLIOGRAFIA

Andersson & Astrand, P., 1984. Structural Interpretation of Landsat Images over Tertiary Volcanics in Nicaragua, Central America, SGAB report to SAREC/INMINE and FIR.

Bullard, E.C., Everett, J.E. and Smith, A.G., 1965. The fit of the continents around the Atlantic; A symposium on continental drift, Phil. Trans. R. Soc. Lond., A258, 41-51.

Dengo, G., 1973. Estructura Geológica, Historia Tectónica y Morfología de América Central. ICAITI. Guatemala.

Dengo, G., 1983. Mid-America: Tectonic setting for the pacific margin from México to northern western Colombia in the ocean basins and margins, Vol. 7A: The Pacific Ocean p. 123-180.

Dengo, G. y Case, J., 1990. The Geology of North America and The Caribbean Region. Vol. H. Colorado.

Donnelly et al., 1990. Northern Central America, the Maya and Chortis blocks in Dengo, G. and Case, J.E edition The geology of North America and The Caribbean Region.

Ehrenborg, J., 1996. Una Nueva Estratigrafía de Rocas Volcánicas Terciarias en la Región Central de Nicaragua. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Luleå.

Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación Científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.

Frischbutter, A., 2002. Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from Remote Sensing Images. Geofísica Internacional, Vol. 4, N° 002, p. 87-102.

Garayar, J., 1971. Geología y Depósitos Minerales de una parte de las Mesas de Estelí, Cordillera Norte y Montañas de Dipilto. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 10. Managua.

García Palomo, A., 2002. Vulcanismo y Geología Estructural de la Región de Apan Estados de Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y México. Tesis de Doctorado Ciencias Vulcanología. Universidad Autónoma de México, México, DF.

Garduño Monrroy V. H., 2001. Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 18 (1):37-54.

Hodgson, G., 1971. Geología y anotaciones mineralógicas de la Planicie del Noroeste y de la Pre-cordillera Occidental. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 13. Managua.

Hodgson, G., 1988. Anotaciones geológicas mineras del área de Rincón de García y vecindades. Instituto Nicaragüense de la minería y dirección general de geología. Archivo técnico MIFIC.

Kerr, Paul F., 1984. Mineralogía Óptica

Kuang, J., 1971. Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 10. Managua.

Levi, B., Nyström, J.O., Troëng, B., Ehrenborg, J., and Carranza, G. 1987. Geochemistry of volcanic rocks in a traverse through Nicaragua. Revista Geológica de América Central. San José, Costa Rica.

Lilljequist & Hodgson, 1983. Structures and rocks formations related to precious metal veins deposits in Nicaragua.

López, S., 2011. Caracterización Estructural de la hojas topográficas de Somotillo y Achuapa, Noroeste de Nicaragua

Mackenzie, W.S. and Guilford, C., 1980. Atlas of rock-forming minerals in thin section.

Mackenzie, W.S. and Guilford, C., 1980. Atlas of igneous rocks and their textures.

McBirney, A., Williams, H., 1965. Volcanic History of Nicaragua. University of California.

Parson Corporation., 1972. The Geology of Western Nicaragua. Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project.

Rodríguez, D., 1989. Estudio Geológico-Estructural y de Alteraciones Hidrotermales del área Mina de Agua-Rincón de García, Nicaragua.

Rodríguez, D., 1994. Geology and geochemistry of igneous rocks associated with minerals deposits in Northeastern Nicaragua, Central America.

Rodríguez, D., 1998. Mineral deposits and metallogenic provinces in Nicaragua. En: Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación Científica en Nicaragua. Proyecto Conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.

Tolson, G., 1996. Un Catalogo de Indicadores Cinemáticos en Rocas Cizalladas. Depto. de Paleomagnetismo. GEOS, Unión Geofísica Mexicana, 16(1).

Weinberg, R. F., 1990. Neotectonic Development of Western Nicaragua. En: Elming, S., Widenfalk, L., & Rodríguez, D., 1998. Investigación científica en Nicaragua. Proyecto conjunto Suecia-Nicaragua. Lulea.

Zoppis Bracci, L., 1957. Estudio Geológico de la Región de Palacagüina y de su depósito de antimonio. Servicio Geológico Nacional de Nicaragua. Boletín N°1. Managua.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Descripción Macroscópica de las rocas de Villanueva y El Sauce.

Puntos de Muestreo	Color			Minerales			Composición Química			Textura				Origen			Intrusiva			Extrusiva					
	Oscuro	Intermedio	Claro	Félsicos	Máficos	Ambos	Acida	Intermedia	Básica	Afanítica	Fanerítica	Vesicular	Vítrea	Porfírica	Plutónica	Hipabisal	Extrusiva	Granito	Granodiorita	Diorita	Riolita	Riodacita	Dacita	Andesita	Basalto
Loma El Coyol	x				x			x						x			x							x	
Rio Grande		x		x			x			x							x				x				
Cerro Los Lirios			x	x				x			x				x				x						
Cerro El Pilón	x				x			x						x			x							x	
Loma Los Laureles	x				x			x						x			x							x	
Quebrada Grande	x				x			x						x			x							x	
Cerro El Tizate		x				x		x						x			x						x		
Cerro Las Jolotas	x				x			x						x			x							x	
El Pajuil	x				x			x						x			x							x	
El Refugio	x				x			x						x			x							x	
Flor Azalia	x				x			x						x			x							x	
Pozo Rico	x				x			x						x			x							x	
El Jicarito	x				x			x						x			x							x	
El Nancital	x				x				x					x			x								x
Cerro Virginia	x				x			x						x			x							x	
Cerro Grande	x				x			x						x			x							x	
El Tortero	x				x			x						x			x							x	
Rincón García	x				x			x						x			x							x	
El Gamalotal			x	x				x			x				x				x						
Cerro El Chaparral	x				x			x						x			x							x	
Cerro Los Arados	x				x			x						x			x							x	
El Garcero	x				x			x						x			x							x	
Las Garzas	x				x				x					x			x								x
Los Encuentros			x	x				x			x				x				x						
San Antonio	x				x			x						x			x							x	
Rio El Sauce	x				x			x						x			x							x	
El Cobano	x				x			x						x			x							x	

Anexo 2. Descripción Petrográfica de las rocas de Villanueva y El Sauce.

Muestra: Loma El Coyo									Clasificación: Andesita												
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	30	x								x			x		x						
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol																					
Piroxeno	15	x								x			x				x				
Olivino																					
Minerales Metálicos	5	x								x			x		x						
Matriz	50							x													
Observaciones																		x			
En algunos sectores zeolitas con textura fibrosa y extinción en forma de abanico.																					

Muestra: Cerro El Pilón									Clasificación: Andesita Piroxénica												
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	50	x								x			x		x						
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol																					
Piroxeno	40	x								x			x		x						
Olivino																					
Minerales Metálicos	10				x																
Otros																					
																		x			
Observaciones																					
Fenocristales de plagioclasas corroídos y en algunos de ellos zericita y alteración de vidrio volcánico. Clorita en proceso de opacitización. Polvo de minerales metálicos. Vetillas de Carbonato de Calcio.																					

Muestra: Cerro El Tizate								Clasificación: Toba Dacítica													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo	15	x	x							x				x	x		x				
Plagioclasa	25	x								x			x		x						
Feldespato			x							x							x				
Micas																					
Anfíbol	5	x											x			x					
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos	5		x							x			x				x				
Matriz	50		x					x		x											
Observaciones																					x
Fenocristales de plagioclasas macladas con alteración tipo albitización y carbonatización, algunas se observan como esqueletos pseudomorfizados por clorita y sílice.																					
Fenocristales de cuarzo corroídos por la matriz.																					
Microfenocristales de anfíbol con alteración tipo cloritización y carbonatización.																					

Muestra: Cerro Las Jolotas								Clasificación: Andesita													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo	10	x												x			x				
Plagioclasa	25	x								x			x		x		x				
Feldespato																					
Micas																					
Anfibol																					
Piroxeno	10	x								x			x			x					
Olivino																					
Minerales Metálicos	5	x																			
Matriz	50							x			x										
																		x			
Observaciones																					
Microfenocristales de anfíbol sustituidos por clorita. Amígdalas rellenas por clorita y rodeada por cuarzo micrográfico. Hidróxido de hierro en fracturas en fenocristales de plagioclasas. En una vetilla se observa textura de corona: amígdala rellena con cuarzo secundario y zeolita, Ambos rodeados por microlitos finos.																					

Muestra: Pozo Rico								Clasificación: Andesita													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo	10	x												x		x					
Plagioclasa	30	x											x		x						
Feldespato	5	x					x						x			x					
Micas																					
Anfíbol	15	x											x			x					
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos																					
Matriz	40				x																
Observaciones																		x			
Microfenocristales de plagioclasas carbonatizadas. Microfenocristales de anfíbol cloritizados y carbonatizados y con feldespato potásico. Matriz alterada y silicificada. Cuarzo secundario y apatito.																					

Muestra: El Nancital								Clasificación: Basalto													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	35	x	x							x			x		x		x				
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol																					
Piroxeno	20	x	x							x			x		x		x				
Olivino																					
Minerales Metálicos	5		x							x			x			x					
Matriz	40							x			x										
Observaciones																			x		
Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas con alteración tipo saussuritización y corroídas por vidrio volcánico. Matriz compuesta por microlitos de plagioclasas y piroxenos. Oxido de hierro entre fracturas.																					

Muestra: Cerro Virginia								Clasificación: Andesita Hornblendica													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microfilitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo			x											x							
Plagioclasa	35	x	x							x			x		x		x				
Feldespato																					
Micas																					
Anfibol	20	x								x			x		x						
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos	5	x											x			x					
Matriz	40							x													
																		x			
Observaciones																					
En algunos sectores textura glomeroporfídica. Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas y con alteración tipo cloritización. Fenocristales de anfíbol sustituidos por clorita, epidota, calcita y arcilla.																					

Muestra: El Gamalotal								Clasificación: Granodiorita													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo	20	x												x	x						
Plagioclasa	35	x											x		x						
Feldespatos	25	x												x		x					
Micas	5	x												x		x					
Anfibol	10	x											x			x					
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos	5	x												x							
Otros																					
Observaciones																				x	
En algunos sectores con textura micrográfica: intercrecimiento de cuarzo en feldespatos potásicos. Fenocristales de plagioclasas con alteración tipo cloritización. Microfenocristales de feldespatos potásicos con alteración a minerales arcillosos. Microfenocristales de anfíbol sustituidos por clorita.																					

Muestra: Cerro El Chaparral									Clasificación: Andesita												
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	30	x								x			x		x						
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol																					
Piroxeno	20	x								x			x			x					
Olivino																					
Minerales Metálicos																					
Matriz	50				x																
Observaciones																		x			
Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas. Microfenocristales de piroxeno en proceso de opacitización y alterados a clorita. Matriz silicificada y desvitrificada.																					

Muestra: Cerro Los Arados								Clasificación: Andesita													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz		Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura				
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	30	x								x		x				x					
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol	20	x								x			x			x					
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos																					
Matriz	50							x			x										
Observaciones																		x			
En algunos sectores textura seriada. Microfenocristales de anfíbol alterados a plagioclasas en forma de cuña. Microfenocristales de plagioclasas zonadas y con alteración tipo pelitización.																					

Muestra: Las Garzas								Clasificación: Basalto													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	30	x	x										x		x		x				
Feldespato																					
Micas																					
Anfíbol																					
Piroxeno	10	x	x										x		x		x				
Olivino	15	x										x			x						
Minerales Metálicos	5	x														x					
Matriz	40						x														
																		x			
Observaciones																					
Fenocristales de plagioclasas macladas y zonadas con alteración tipo saussuritización y corroídas por vidrio volcánico.																					
Fenocristales de olivino con alteración tipo iddingsita.																					
Matriz microlítica.																					
Oxido de hierro entre fracturas.																					

Muestra: Los Encuentros								Clasificación: Granodiorita													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo	20	x							x					x	x						
Plagioclasa	40	x							x				x		x						
Feldespato	25	x							x					x		x					
Micas	5	x							x					x		x					
Anfíbol	10	x							x				x			x					
Piroxeno																					
Olivino																					
Minerales Metálicos																					
Otros																					
Observaciones																				x	
En algunos sectores textura micrográfica: intercrecimiento de cuarzo en feldespato potásico Fenocristales de plagioclasas con alteración tipo cloritización. Microfenocristales de feldespato potásico con alteración a minerales arcillosos. Microfenocristales de anfíbol sustituidos por clorita.																					

Muestra: Quebrada El Sauce								Clasificación: Andesita Piroxénica													
Minerales	% Vol.	Componentes				Matriz			Grado de Cristalinidad			Forma			Tamaño			Textura			
		Cristales	Matriz	Cristales y Matriz	Otro	Vidrio	Cristales	Cristales y Vidrio	Holocristalina	Hipocristalina	Holohialina	Euhedral	Subhedral	Anhedral	Fenocristales > 3 mm	Microfenocristales 3 – 0.3mm	Microlitos < 0.3 mm	Porfírica	Intergranular	Hipidiomórfica	Cristalovitrioclástica
Cuarzo																					
Plagioclasa	30	x	x							x			x		x						
Feldespato																					
Micas																					
Anfibol	10	x								x			x		x						
Piroxeno	20	x								x			x		x						
Olivino																					
Minerales Metálicos	15																				
Matriz	25						x		x				x				x				
																		x			
Observaciones																					
En algunos sectores con textura glomeroporfídica. Fenocristales de plagioclasas con alteración tipo saussuritización. Fenocristales de piroxenos con minerales metálicos entre ellos. Matriz microlítica Alteraciones: cloritización y epidotización.																					

Anexo 3. Clasificación Geomorfológica propuesta por Van Zuidam, 1975.*

Código	Unidad	Sub-unidad	Características Generales
D3	Origen Denudacional	Colinas Denudacionales	Colinas escarpadas a muy escarpadas. Topografía montañosa. Moderada a severamente disectadas.
V9	Origen Volcánico	Coladas de Lava	Topografía ondulada. Pendiente ligeramente fuerte a moderadamente fuerte. Ligeramente a moderadamente disectadas.
V14		Remanentes de Calderas	Colinas con pendientes moderadas a fuertes. Moderadamente a severamente disectadas.
V16		Colinas Volcánicas y Cerros Testigos	Colinas con pendientes suaves a inclinadas. Topografía ondulada.
S1	Origen Estructural	Topografía Ondulada	Topografía ondulada con sistemas de drenaje relacionado con los patrones de fallamiento. Ligeramente a moderadamente inclinadas. Moderadamente disectadas.
S10		Domos	Colinas con pendiente moderada a fuerte. Moderadamente disectados.
I	Origen Intrusivo		Cuestas con pendientes inclinadas a moderadamente escarpadas. Topografía abrupta.
F3	Origen Fluvial	Llanuras Aluviales	Topografía casi plana a ligeramente irregular. Inundaciones regulares a estacionales. Básicamente sujeta a la colmatación por acumulación fluvial.

***Solo se presentan las unidades y subunidades geomorfológicas descritas en el Capítulo 5. Geomorfología.**

Anexo 4. Mediciones de criterios de cizalla e indicadores cinemáticos en Villanueva y El Sauce.

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1436200 E 547500		El Sauce		Loma El Coyol		NE						Andesita			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico	x						
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P							
				Semi-paralelo			Sigmoides	x							
Harina		Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas							
				En echelón			Estrías								
				Relevo		Bifurcada		Escalones	x						
		Compleja		Abanico			Clastos Rotados								
				Anastomosado	x	Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
Observaciones															
S60°W desplaza a S5°E															

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1435505 E 546884		El Sauce		Rio Grande		NW						Riolita			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico							
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P							
				Semi-paralelo			Sigmoides								
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas								
			En Echelón			Estrías	x								
			Relevo		Bifurcada		Escalones								
	Compleja		Abanico			Clastos Rotados									
			Anastomosado	Cola de Caballo	Estructuras Lunares										
Observaciones															
N75°W buzamiento: 72°SW S15°W buzamiento: 25°SE S15°E buzamiento: 16°SW															

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1427041 E 551160		El Sauce		Loma Los Laureles		NW						Andesita			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha	x	Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico							
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P							
				Semi-paralelo			Sigmoides	x							
Harina		Perpendicular		Relay	x	Ala		Vetillas Escalonadas							
				En Echelón			Estrias								
				Relevo			Escalones	x							
		Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados							
				Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
Observaciones															
Brecha de falla: 2.88m Sigmoide 60cm de ancho, 1m de largo															

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1427421 E 551151		El Sauce		Quebrada Grande								Andesita			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico							
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P							
				Semi-paralelo			Sigmoides								
		Harina		Perpendicular		Relay	x	Ala					Vetillas Escalonadas		
En Echelón						Estrías									
Relevo						Escalones									
Compleja				Abanico		Bifurcada	x	Clastos Rotados							
				Anastomosado	x		Cola de Caballo	x	Estructuras Lunares						
Observaciones															
N15°W desplaza a S75°W															

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1436717 E 516035		Villanueva		El Pajuil		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha	x	Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístrico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo			Sigmoides					
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas					
			En Echelón			Estrías	x					
			Relevo		Bifurcada		Escalones	x				
	Compleja	Abanico		Clastos Rotados								
		Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares						
Observaciones												
Brecha de falla: 1.83m N33°W buzamiento: 58°SE												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1436772 E 513044		Villanueva		El Refugio		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada		Simple	x	Simple		Fallamiento Lístrico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo	x			Sigmoides				
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas					
			En Echelón				Estrías	x				
			Relevo		Bifurcada		Escalones					
	Compleja		Abanico				Clastos Rotados					
			Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares					
Observaciones												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1434683 E 514173		Villanueva		Flor Azalia		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo		Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo			Sigmoides					
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas	x				
			En Echelón			Estrías						
			Relevo			Escalones						
	Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados					
			Anastomosado			Cola de Caballo		Estructuras Lunares				
Observaciones												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1433500 E 515933		Villanueva		El Jicarito		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada		Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo	x		Estructuras R y P					
				Semi-paralelo	x	Echelón		Sigmoides				
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas	x				
			En Echelón				Estrias					
			Relevo				Escalones					
	Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados					
			Anastomosado			Cola de Caballo	x	Estructuras Lunares				
Observaciones												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1422019 E 516052		Villanueva		El Nancital		NW						Basalto			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha		Conjugada		Simple		Simple		Fallamiento Lístrico							
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P							
				Semi-paralelo	x			Sigmoides							
Harina		Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas							
				En Echelón				Estrias							
				Relevo		Bifurcada		Escalones							
		Compleja		Abanico			Clastos Rotados								
				Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares							
Observaciones															

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1434232 E 526472		Villanueva		San Ramón		NW						Dacita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lítrico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo	x		Sigmoides	x				
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas					
			En Echelón			Estrias						
			Relevo		Bifurcada	x	Escalones					
	Compleja	Abanico		Clastos Rotados								
		Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares						
Observaciones												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1429379 E 523931		Villanueva		Rincón García		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo			Sigmoides	x				
		Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas			
En Echelón					Estrías							
Relevo					Bifurcada		Escalones	x				
Compleja			Abanico			Clastos Rotados						
			Anastomosado			Cola de Caballo		Estructuras Lunares				
Observaciones												

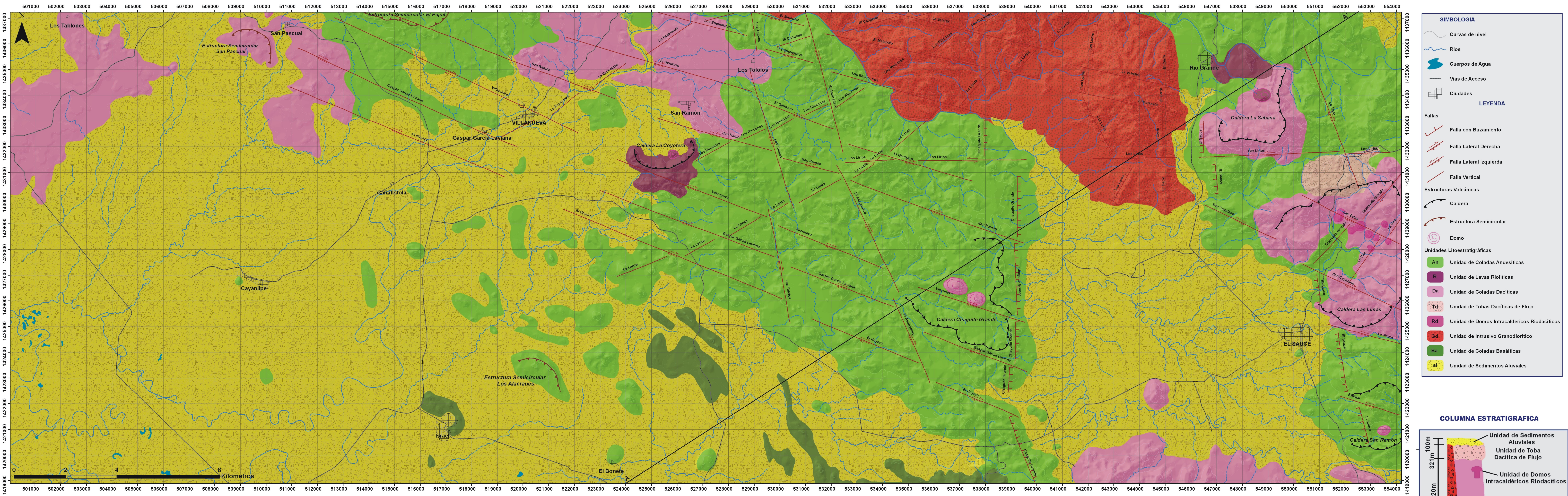
Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1433657 E 534374		El Sauce		El Gamalotal		NW						Granodiorita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístrico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo	x			Sigmoides				
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas					
			En Echelón			Estrías	x					
			Relevo			Escalones	x					
	Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados					
			Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares					
Observaciones												
N 22°E desplaza a N70°E												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1424850 E 532006		El Sauce		El Garcero		SW		SE				Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo	x	Echelón		Estructuras R y P	x			
				Semi-paralelo	x			Sigmoides				
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas					
			En Echelón				Estrías					
			Relevo				Escalones					
	Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados					
			Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares					
Observaciones												
N65°W desplaza a S28°W												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1433382 E 537418		El Sauce		Los Encuentros		NW						Granodiorita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo		Echelon		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo			Sigmoides	x				
Harina		Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas				
				En Echelon			Estrías	x				
				Relevo		Bifurcada		Escalones				
		Compleja		Abanico			Clastos Rotados					
				Anastomosado	x		Cola de Caballo		Estructuras Lunares			
Observaciones												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta
N 1424766 E 552109		El Sauce		Rio El Sauce		NW						Andesita
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema		
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico				
				Paralelo		Echelón		Estructuras R y P				
				Semi-paralelo			Sigmoides					
Harina		Perpendicular		Relay		Ala	x	Vetillas Escalonadas				
				En Echelón				Estrías	x			
				Relevo		Bifurcada	x	Escalones				
	Compleja		Abanico		Clastos Rotados							
			Anastomosado		Cola de Caballo				Estructuras Lunares			
Observaciones												
N15°W desplaza a N78°E												

Coordenadas		Lugar		Sitio		Rumbo		Buzamiento		Longitud	Desplazamiento	Roca que afecta			
N 1435093 E 552224		El Sauce		El Cobano		NW						Andesita			
Zona de Falla		Arreglo		Geometría		Terminación		Indicador Cinemático		Esquema					
Brecha		Conjugada	x	Simple	x	Simple		Fallamiento Lístico							
				Paralelo	x		Estructuras R y P	x							
				Semi-paralelo	x	Echelón		Sigmoides							
Harina	Perpendicular		Relay		Ala		Vetillas Escalonadas								
			En Echelón			Estrías									
			Relevo			Escalones									
	Compleja		Abanico		Bifurcada		Clastos Rotados								
			Anastomosado		Cola de Caballo		Estructuras Lunares								
Observaciones															



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN - Managua
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología

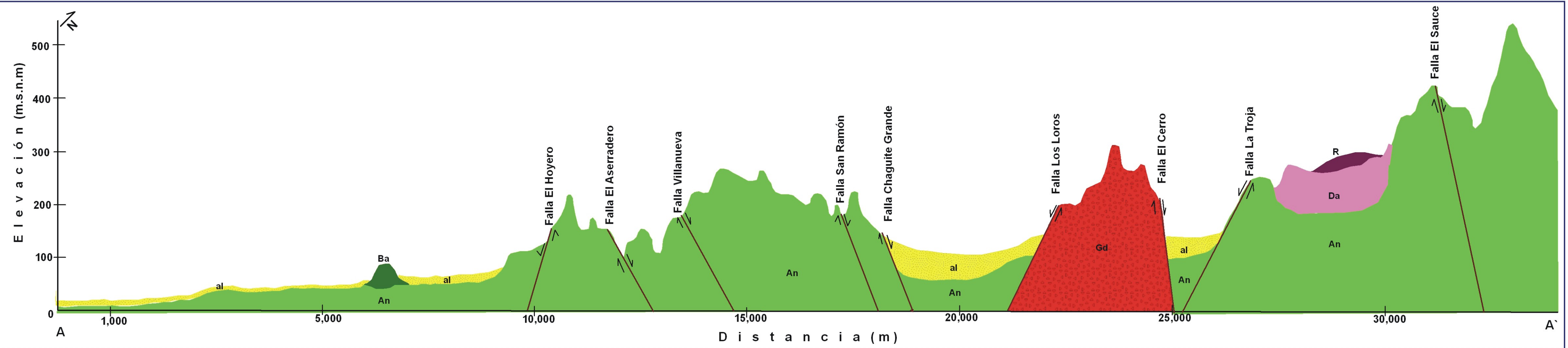
"Estudio Geoestructural en las hojas topográficas de Villanueva y El Sauce en el Occidente de Nicaragua"

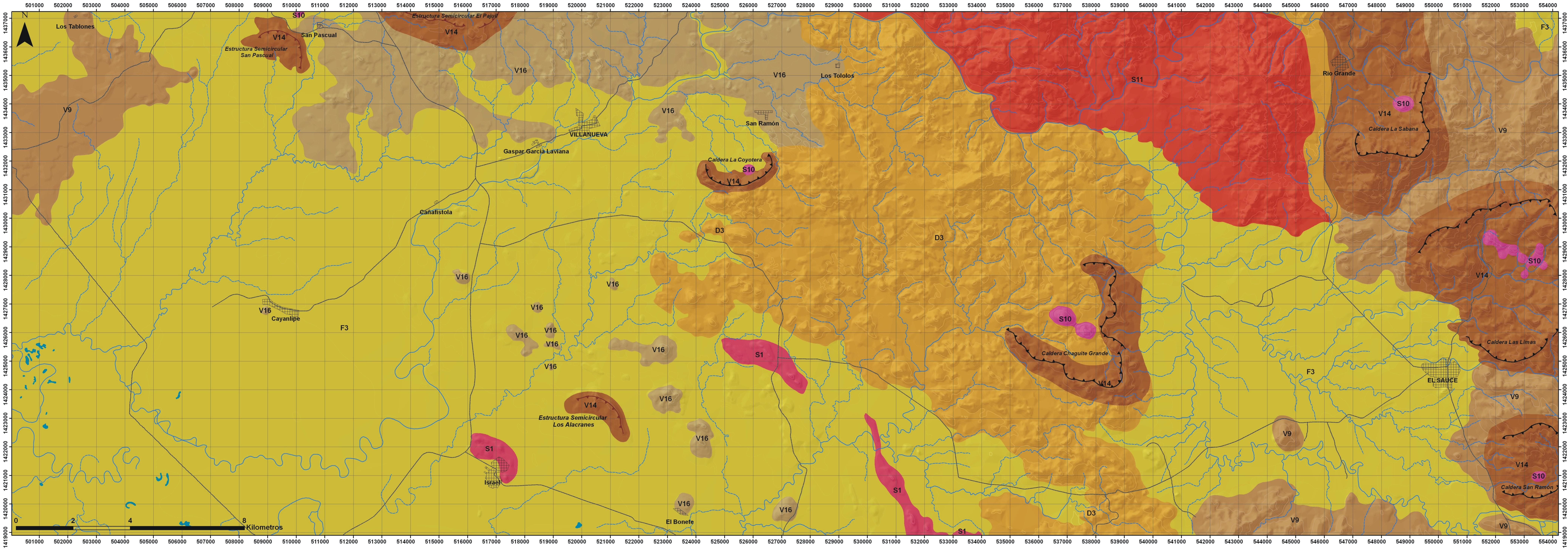
MAPA GEOLOGICO DE VILLANUEVA Y EL SAUCE

Elaborado por Bra. Petronila Guadalupe Flores Ayerdis Escala 1:50,000

Tutor Prof. Dionisio Rodríguez Figura 4

PERFIL GEOLOGICO DE VILLANUEVA Y EL SAUCE





Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN - Managua
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología

"Estudio Geoestructural en las hojas topográficas de Villanueva y El Sauce
en el Occidente de Nicaragua"

MAPA GEOMORFOLOGICO DE VILLANUEVA Y EL SAUCE

Elaborado por Bra. Petronila Guadalupe Flores Ayerdis

Tutor Prof. Dionisio Rodríguez

Escala 1:50,000

Figura 5

SIMBOLOGIA

- Curvas de nivel
- Rios
- Cuerpos de Agua
- Vias de Acceso
- Ciudades

LEYENDA

- Estructuras Volcánicas
- Caldera
 - Estructura Semicircular
 - Domo
- Unidad y Subunidades Geomorfológicas
- D3 Subunidad de Colinas Denudacionales
 - V9 Subunidad de Coladas de Lava
 - V14 Subunidad de Remanentes de Calderas
 - V16 Subunidad de Colinas Volcánicas y Cerros Testigos
 - S1 Subunidad de Topografía Ondulada
 - S10 Subunidad de Domos
 - I Unidad de Origen Intrusivo
 - F3 Subunidad de Llanuras Aluviales

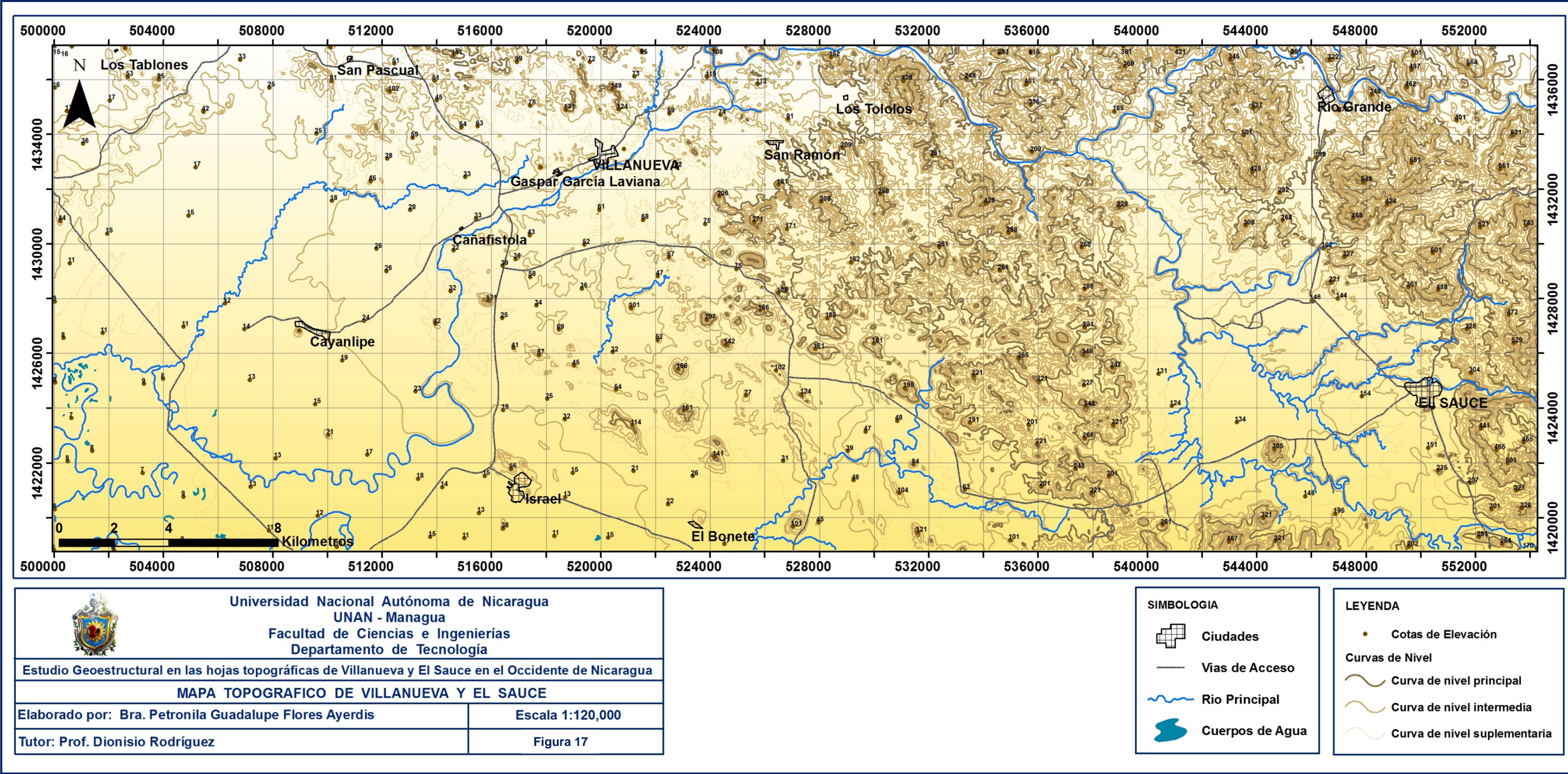


Figura 17. Mapa Topográfico de Villanueva y El Sauce.

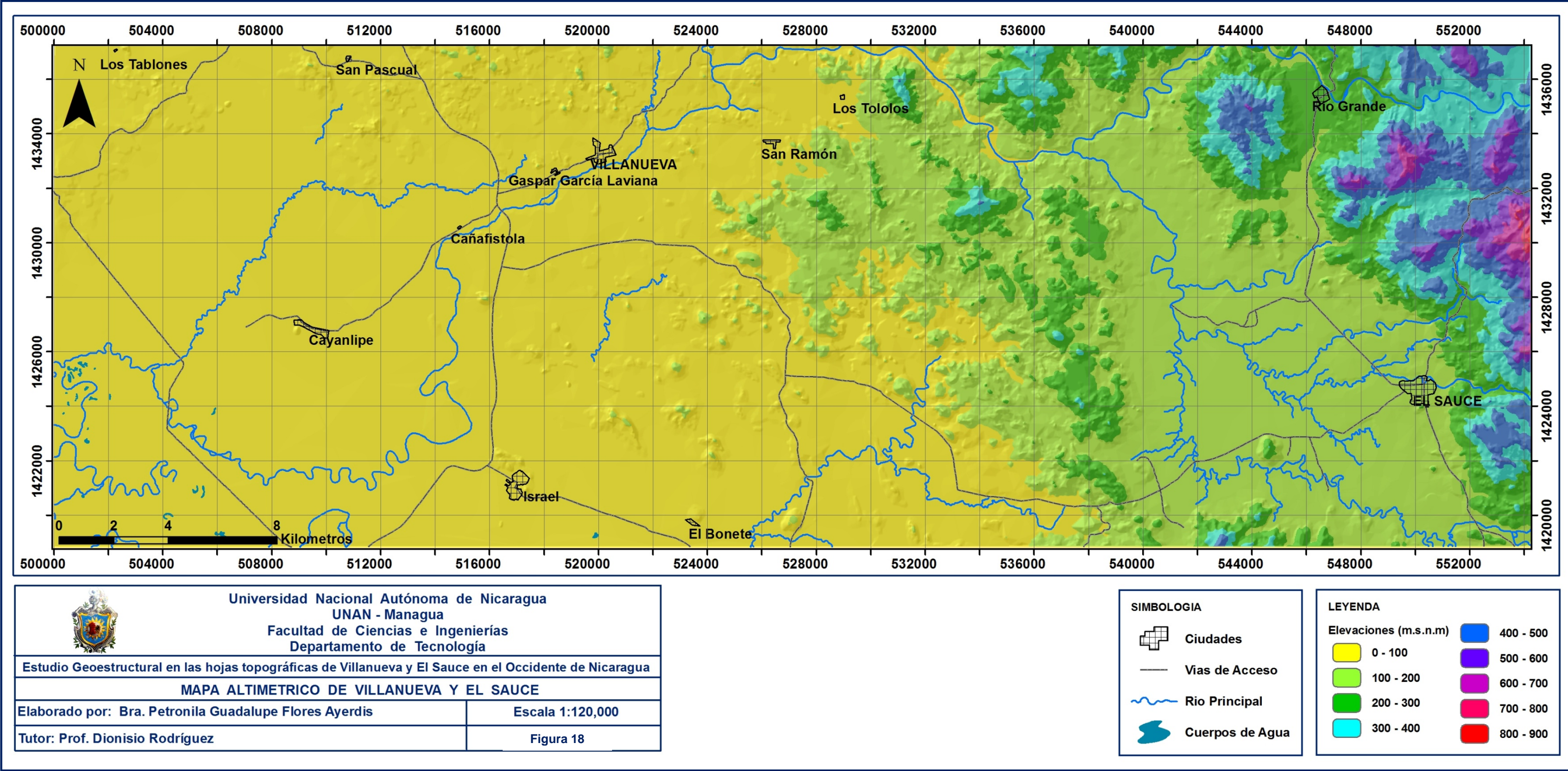


Figura 18. Mapa Altimétrico de Villanueva y El Sauce

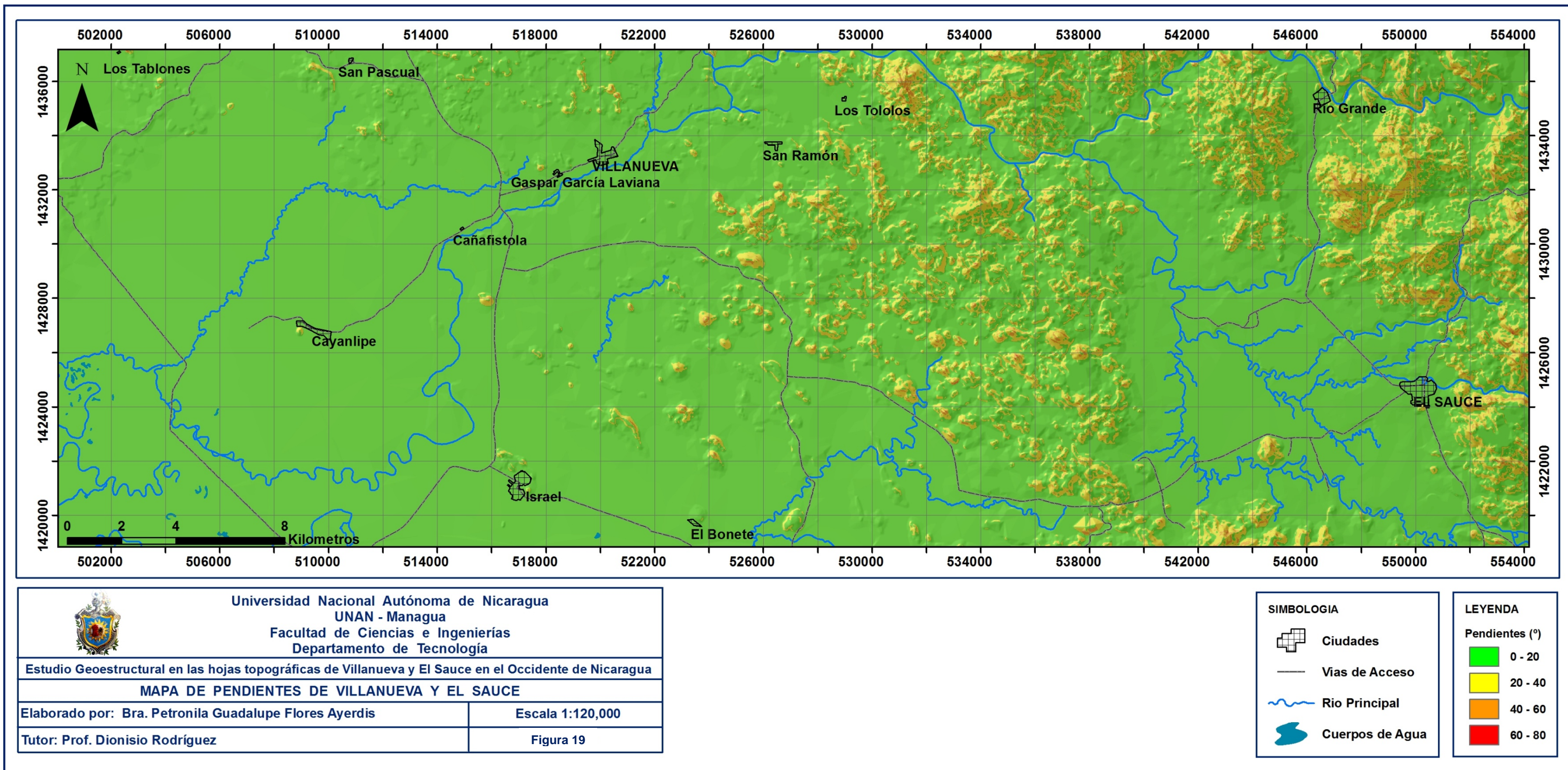


Figura 19. Mapa de Pendientes de Villanueva y El Sauce.

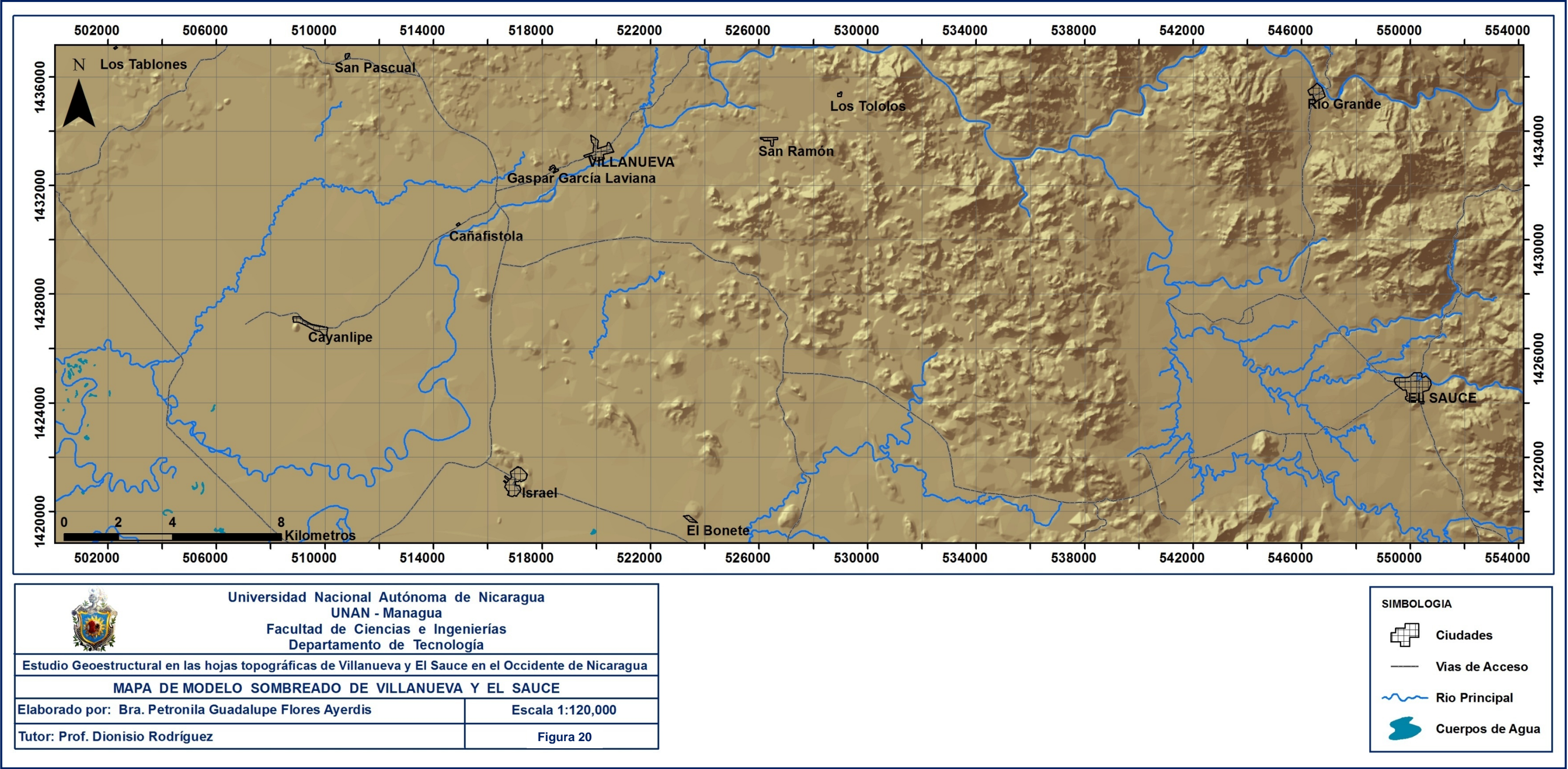
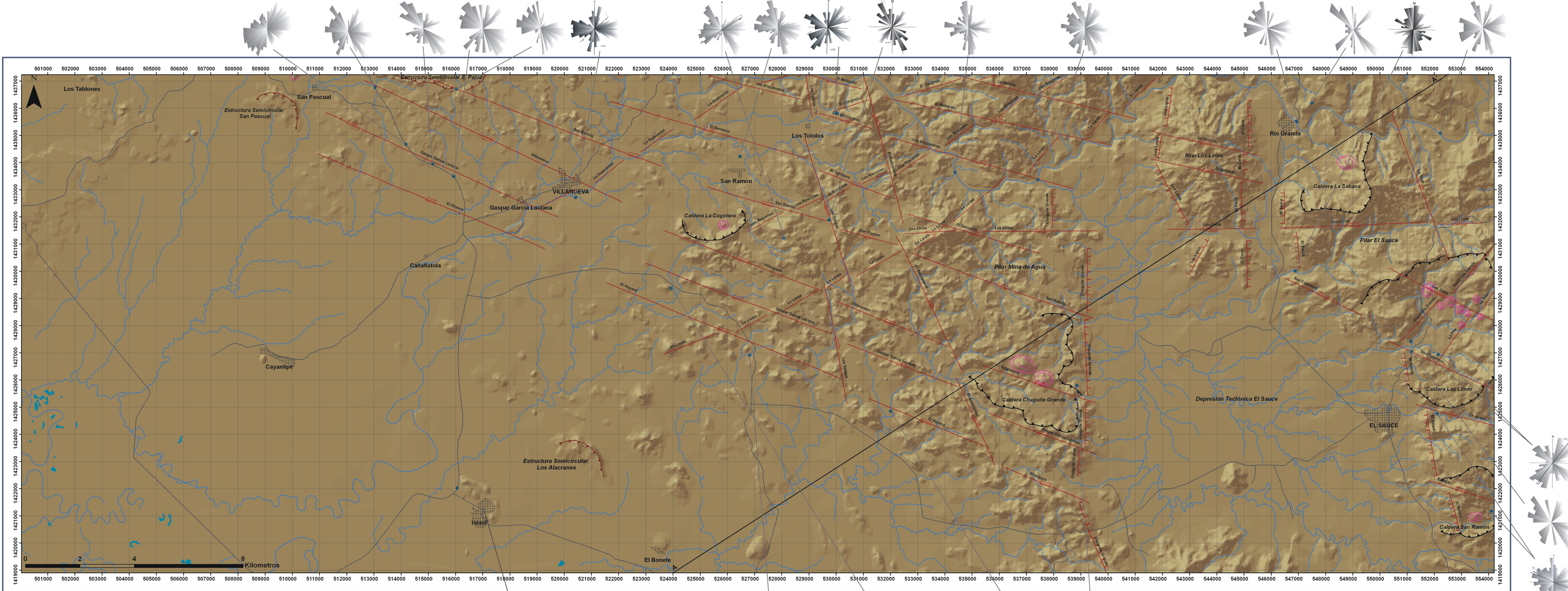


Figura 20. Mapa de Modelo Sombreado de Villanueva y El Sauce.



Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
UNAN - Managua
Facultad de Ciencias e Ingenierías
Departamento de Tecnología

"Estudio Geoestructural en las hojas topográficas de Villanueva y El Sauce
en el Occidente de Nicaragua"

MAPA ESTRUCTURAL DE VILLANUEVA Y EL SAUCE

Elaborado por: Bra. Petronila Guadalupe Flores Ayerdis
Tutor: Prof. Dionisio Rodríguez

Escala 1:50,000
Figura 21

SIMBOLOGIA

- Curvas de nivel
- Rios
- Cuerpos de Agua
- Vías de Acceso
- Ciudades

LEYENDA

- Puntos de Mediciones
- Fallas
 - Falla con Buzamiento
 - Falla Lateral Derecha
 - Falla Lateral Izquierda
 - Falla Vertical
- Estructuras Volcánicas
 - Caldera
 - Estructura Semicircular
 - Domo

